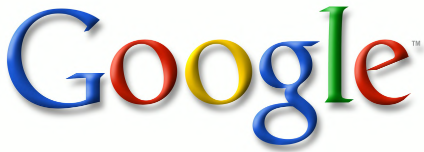



a39015 00009033 5b


1817
ARTES
VERITAS
SCIENTIA
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
TUEBOR
CIRCUMSPICE

Anatomie der Pflanze

Von

Dr. Hans Molisch

o. ö. Professor und Direktor des pflanzenphysiologischen Institutes an der Universität Wien

Mit 126 Abbildungen im Text



Jena
Verlag von Gustav Fischer
1920

Druck der Fürstlich priv. Hofbuchdruckerei (F. Mitzlaff) Rudolstadt

Vorwort.

Meine Hörer haben mich zu wiederholten Malen ersucht, eine kleine „Anatomie der Pflanze“ zu schreiben, die in knapper Form die Elemente dieser Wissenschaft enthält und ihnen als Grundlage und Einführung für weitere Studien dienen soll. Ich komme diesem Wunsche nunmehr mit diesem Büchlein nach und hoffe damit vielleicht auch Wünschen außerhalb des Kreises meiner Schüler entgegenzukommen, da ein kurzgefaßter, für sich erscheinender und von anderen Zweigen der Botanik getrennter Leitfaden der Anatomie der Pflanze auf dem derzeitigen Büchermarkte nur wenige Mitbewerber hat und eben deshalb nicht unerwünscht sein dürfte.

Bei dem dem Buche zugemessenen Raum konnte selbstverständlich die einschlägige Literatur nicht angegeben werden, doch wurden am Schlusse jene Werke, die den Anfänger tiefer in den Gegenstand einzuführen und ihn mit der speziellen Literatur bekannt zu machen geeignet sind, erwähnt. Der zum leichteren Verständnis beigegebene Bilderschmuck besteht aus 126 Figuren. Ein großer Teil davon wurde von meinem Demonstrator, Herrn Josef Kisser, mit großer Sorgfalt ausgeführt, der übrige Teil wurde teils verschiedenen eigenen, teils fremden Schriften entnommen.

Herrn Kisser sage ich für seine Bemühungen herzlichsten Dank, desgleichen meinem Herrn Verleger, der trotz beispielloser, durch den Weltkrieg geschaffener trauriger Verhältnisse keine Mühe und Kosten gescheut hat, meinem kurzen Leitfaden eine vorzügliche Ausstattung zu verschaffen.

Wien im Februar 1920.

Hans Molisch.

Inhaltsverzeichnis.

Leitwort: Das Leben der Pflanze kann nur verstanden werden aus ihrem Bau. Struktur und Leistung stehen regelmäßig im Einklang sowohl bei dem mikroskopischen Einzeller als auch bei dem turmhohen Mammutbaum.

I. Die Zelle.

1. Einleitung.

Um das Jahr 1667 betrachtete der englische, vielseitige Naturforscher Robert Hooke[1]) mit Hilfe eines Mikroskops einen dünnen Schnitt vom Flaschenkork und war überrascht zu sehen, daß er nicht gleichmäßig gebaut ist wie etwa reines Wasser oder reines Glas, sondern ähnlich einer Bienenwabe (Fig. 1). Er unterschied Hohlräume und trennende Wände, er sah den Kork aufgebaut aus kleinen Kämmerlein und nannte sie Zellen. Diesen Namen führen sie noch heute. —

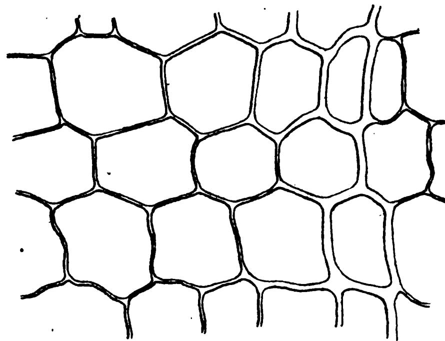


Fig. 1. Flaschenkork. Querschnitt. Vergr. 285. Original.

Einige Jahre später veröffentlichten die beiden Begründer der Pflanzenanatomie Malpighi[2]) und Grew[3]) fast gleichzeitig ihre mikroskopischen Beobachtungen über den Bau der Pflanze, aber erst Schleiden[4]) war es 1838 vorbehalten, zu zeigen, daß

---

[1]) Hooke, R., Mikrographia or some physiological descriptions of minute bodies made by magnifying glasses. London. Royal Soc. 1667.

[2]) Malpighi, M., Die Anatomie der Pflanzen. I. u. II. Teil. London 1675 und 1679. Bearbeitet von Möbius. In Ostwalds Klassiker d. exakt. Wissenschaften. Nr. 120. Leipzig 1901.

[3]) Grew, N., The anatomy of plants. 1682.

[4]) Schleiden, M. J., Beiträge zur Phytogenesis. Müllers Archiv 1838. S. 137—176.

alle Pflanzen, wofern sie nicht aus einer einzigen Zelle bestehen, sich ganz und gar aus Zellen zusammensetzen. Die Zelle ist das Grundorgan, ist der Baustein der Pflanze.

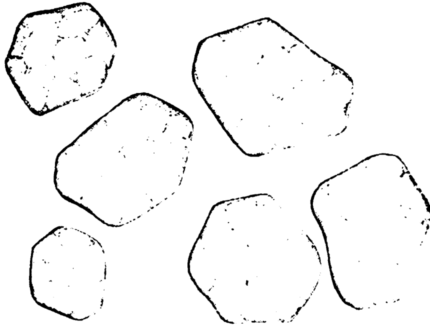


Fig. 2. Isolierte Zellen der Kartoffelknolle. Vergr. 115. Original.

Es ist nicht schwer, sich von dem zelligen Bau der Pflanze zu überzeugen, denn es gelingt leicht, die Organe der Pflanze, Wurzel, Blatt, Stamm und andere in die Zellen zu zerlegen. Eine lebende Kartoffelknolle stellt ein ungemein festes Gebilde dar, allein, wenn man sie gekocht hat, läßt sie sich mit den Fingern leicht zerdrücken, und wenn man ein Stückchen davon in einem Proberöhrchen schüttelt, so zerfällt es in die einzelnen, schon dem freien Auge als weiße Pünktchen erkennbaren Zellen (Fig. 2). Auch ein Stück Holz oder Rinde kann leicht in Zellen zerlegt werden, nur bedarf es hierzu schon kräftigerer Mittel. Dünne Schnitte von Fichten- oder Eichenholz mit Schulzescher Mischung (chlorsaures Kali und Salpetersäure) gekocht, zerfallen leicht in die Zellen und das gleiche läßt sich auch mit starker, heißer Kalilauge bei Rinden erreichen. Man macht von der Trennung der Holzzellen auch im großen bei der Darstellung der als Papierstoff verwendeten Holzzellulose Gebrauch. Sie wird aus grob zerkleinertem Holz, besonders aus Fichtenholz mit Natronlauge oder mit einer Lösung von saurem, schwefligsaurem Kalzium unter hohem Druck gewonnen. Was in den angeführten Beispielen künstlich geschieht, vollzieht sich in der Natur mitunter von selbst. Der herbstliche Laubfall beruht ja darauf, daß die Zellen der am Grunde des Blattstiels befindlichen Trennungsschicht aus dem Verbande gehen.

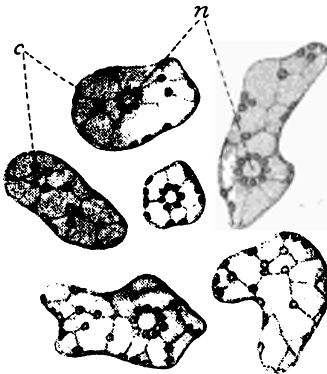


Fig. 3. Isolierte Zellen aus dem Fruchtfleisch der Ligusterbeere, Ligustrum vulgare. *n* Zellkern, *c* Chlorophyllkörner. Vergr. 180. Original.

Die Zellen des Fruchtfleisches der Liguster- und Schneebeere sind, solange die Beere noch unreif ist, fest miteinander verwachsen, später, wenn sie reif sind, liegen die Zellen lose nebeneinander, das Fruchtfleisch wird teigig und mehlig und die Zellen trennen sich beim leisesten Druck voneinander (Fig. 3). So ist es auch bei den Mispel- und Rosenfrüchten, nachdem sie im Herbste einige Fröste erlitten haben.

Von dem zelligen Bau der Pflanze kann man sich auch überzeugen, indem man den umgekehrten Weg einschlägt und nicht die fertige Pflanze in die Zellen zerlegt, sondern die Entwicklung der werdenden Pflanze verfolgt und zusieht, wie aus der Eizelle oder der Spore sich durch fortgesetzte Zellteilung die Pflanze aufbaut. Die Myriaden von Zellen eines Baumes leiten sich alle in letzter Linie von der Eizelle ab.

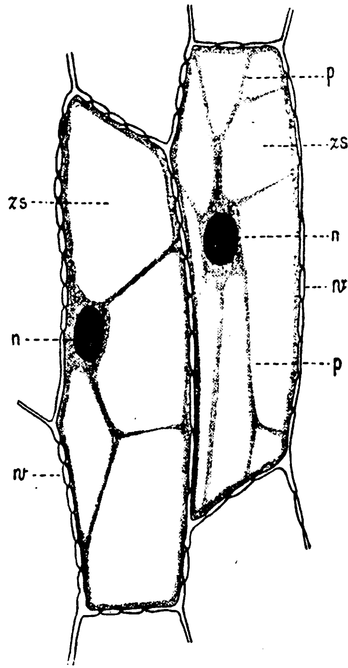


Fig. 4. Zwei Zellen aus der Oberhaut der Zwiebelschuppe von Allium cepa. *w* Wand, *p* Protoplasma, *n* Zellkern, *zs* Zellsaft. Vgr. 150. Original.

Vereinigen sich Zellen zu einem einheitlichen Ganzen, so entsteht ein Gewebe. Wir wollen vorläufig drei Gewebe unterscheiden: Haut-, Strang- und Grundgewebe. Wir nennen Hautgewebe das Gewebe, das die Oberfläche der Pflanze bildet, Stranggewebe die zu Bündeln vereinigten Massen und Grundgewebe den zwischen diesen beiden genannten Geweben als Füllmasse gelagerten Teil.

Das Hautgewebe läßt sich oft leicht in Streifen als weiße Haut abziehen, z. B. vom Blatte der Hyazinthe, oder als braune Schale bei der gekochten Kartoffel. Ein Linden- oder Eichenblatt zeigt uns, im durchfallenden Lichte betrachtet, ein wunderbar verzweigtes Geäder, die sogenannte Nervatur des Blattes: es besteht aus Stranggewebe. Das weiche, grüne Gewebe des Blattes, das saftige Fleisch der Früchte und das weiche Gewebe der Zuckerrübe setzen sich aus Grundgewebe zusammen.

Glieder der Zelle. Das, was Hooke im Flaschenkork mit bewaffnetem Auge gesehen, waren aber in Wirklichkeit keine lebenden Zellen, sondern Zellenleichen, denn gewöhnlich stellen die Zellen keine leeren, sondern mit Saft erfüllte Kammern dar. Eine lebende Pflanzenzelle besteht zumeist 1. aus einer Haut, 2. aus dem Protoplasma, 3. aus dem Zellkern und 4. aus dem Zellsaft (Fig. 4).

Die Haut bildet die starre Oberfläche der Zelle. Sie ist im Gegensatz zur tierischen Zelle in der Regel vorhanden, kann aber ausnahmsweise auch fehlen. Die Schwärmsporen der Algen, die Myxamöben der Schleimpilze, die männlichen Geschlechtszellen der Moose und Farne und die Eizellen höherer Pflanzen sind nackte Zellen (Fig. 5).

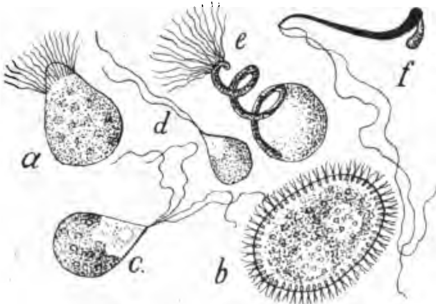


Fig. 5. Nackte Zellen. *a* Schwärmspore von Oedogonium, *b* von Vaucheria sessilis, *c* von Ulothrix zonata, *d* Geschlechtszellen derselben Alge, *e* Spermatozoid eines Farns (Dryopteris), *f* von Marchantia polymorpha. Original.

Das Protoplasma oder kurzweg Plasma genannt, fehlt keiner lebenden Zelle; es ist der eigentliche lebendige Leib der Zelle, der als schleimige Masse die junge Zelle fast ganz erfüllt, später sich häufig in Form eines Schlauches der inneren Oberfläche auf das innigste anlegt.

Der Kern ist als meist runder, gleichfalls lebender Körper dem Plasma eingebettet und kommt in den meisten, vielleicht in allen Zellen vor.

Der Zellsaft fehlt in ganz jungen Zellen. Während der weiteren Entwicklung der Zelle treten im Plasma Saftbläschen oder Vakuolen auf, die zu größeren oder schließlich zu einem einzigen großen Saftraum zusammenfließen können, der vom Plasmaschlauch umschlossen wird.

Außerdem kommen in vielen Zellen verschiedene Einschlüsse vor, von denen später noch die Rede sein wird.

Die **Form** der Zelle zeigt eine kaleidoskopartige Mannigfaltigkeit. Runde, vieleckige, platten-, stern- und faserförmige Zellen mit allen möglichen Übergängen finden sich vor, ent-

sprechend den Worten Goethes: „Alle Gestalten sind ähnlich und keine gleichet der andern".

Nach der Form lassen sich im ausgebildeten Zustande zwei Hauptarten von Zellen unterscheiden: Parenchymzellen, das heißt dünnwandige, nach allen drei Richtungen des Raumes mehr oder weniger gleich ausgebildete Zellen und Prosenchymzellen, das heißt dickwandige, faserförmige.

Es ist häufig gar nicht leicht, die Form der Zellen zu beurteilen. Man macht daher z. B. bei der Untersuchung des zylindrischen Stammes 3 anatomische Hauptschnitte: den Querschnitt, senkrecht zur Längsachse, und zwei Längsschnitte, den Radialschnitt, der durch den Mittelpunkt, und den Tangentialschnitt, der parallel zur Tangente des Stammquerschnittes geht.

Bemerkenswert erscheint die Tatsache, daß bei einzelnen niederen, einzelligen Pflanzen schon Gestalten auftreten, die die der höheren Pflanzen nachahmen, wie z. B. die bei den Meeresalgen Bryopsis und Caulerpa (vgl. S. 90, Fig. 82).

Zellgröße. Die Zellen sind gewöhnlich so klein, daß man sie erst mit dem Mikroskope wahrnimmt. Doch gibt es auch hier große Unterschiede. Zu den kleinsten bisher bekanntgewordenen Zellen gehören die Bakterien, jene kleinsten Lebewesen, die, obwohl oft an der Grenze mikroskopischer Wahrnehmung stehend, in der freien Natur, in der Medizin, Hygiene und nicht zuletzt im Haushalt eine ungewöhnlich große Rolle spielen. Eine der kleinsten Bakterien ist der Influenzabazillus, etwa 0,4 μ[1]) breit und 1,2 μ lang. Der Durchmesser der meisten Parenchymzellen schwankt zwischen 15 bis 70 μ und mehr. Die Parenchymzellen im Stengel von Impatiensarten werden bereits so groß, daß man sie auf dünnen Querscheiben des Stengels schon mit freiem Auge wahrnehmen kann. Um nun auch von sehr großen Zellen zu sprechen, so sei erwähnt, daß ein Baumwollhaar 1—5 cm, die Flachsfaser 0,2—4 cm, die Hanffaser 0,1—5 cm lang wird, während ihr Querschnitt mikroskopisch bleibt. Zu den größten Zellen gehören gewisse Meeresalgen wie Caulerpa und zu den längsten Zellen überhaupt die Milchröhren der Wolfsmilcharten (Euphorbia), die bei den baumartigen Vertretern dieser Gattung mehrere Meter erreichen.

Warum macht die Natur im allgemeinen kleine Zellen? Weil dadurch die relative Oberfläche eine sehr große wird und die

---

1) **μ = 0,001 Millimeter und heißt Mikron.**

Stoffwechselvorgänge, die Arbeitsteilung und die Festigung der Pflanze in hohem Grade gefördert werden.

Auf die Frage, ob es noch kleinere Zellen oder Lebewesen gibt als die kleinsten, bis jetzt bekannten, kann man derzeit antworten: Wenn auch die Möglichkeit, daß es ultramikroskopische Lebewesen gibt, nicht bestritten werden soll, so wird doch die künftige Forschung wahrscheinlich zeigen, daß sie, falls sie überhaupt existieren, keineswegs recht häufig, sondern verhältnismäßig selten und nicht viel kleiner sein können als die kleinsten bisher bekannten Lebewesen.

2. Das Protoplasma.

Der lebendige Leib der Zelle heißt Plasma, Protoplasma. Es ist eines der merkwürdigsten Gebilde, denn all die Erscheinungen, die wir dem Leben zuschreiben, Atmung, Wachstum, Ernährung und Reizbarkeit, all das geht vom Plasma aus und spielt sich in ihm ab.

Das Plasma enthält verschiedene lebende plasmatische Einschlüsse, unter anderem den Kern und verschiedene Farbstoffträger. Denken wir uns diese Einschlüsse weg, so erhalten wir das Plasma im engeren Sinne oder das Zytoplasma.

Das Plasma stellt eine schleimige bis zähflüssige kolloidale Substanz dar, die bei größerem Reichtum von Wasser sogar wie eine Flüssigkeit erscheint, ohne aber eine solche zu sein. Das Plasma läßt zwei Schichten unterscheiden, eine dünne äußere, körnchenfreie, die Hautschicht oder das Hyaloplasma, und eine innere, von Körnchen oder Mikrosomen durchsetzte Schichte, die Körnchenschichte oder das Polioplasma. Beide bestehen wohl aus derselben Grundsubstanz, denn wenn durch Verwundung die Körnchenschichte bloßgelegt wird, so bildet sich aus dieser eine neue Hautschichte, indem die Körnchen nach innen gedrängt werden.

Auch gegen die Vakuolen erscheint das Zytoplasma in ähnlicher Weise durch eine Hautschicht abgegrenzt wie gegen die Zellhaut oder die Außenwelt.

Ist das Plasma von größeren Saftblasen durchsetzt, so erscheint es zerklüftet, ist es von sehr vielen kleineren Vakuolen erfüllt, so sieht es schaumig oder wabig aus. In sehr seltenen Fällen scheint es fibrillär zu sein. Die Fig. 6 gibt eine deutliche Vorstellung von der durch die Vakuolen hervorgerufenen Zer-

klüftung des Plasmas und seiner fibrillären oder faserigen Struktur. Diese kommt in dem Kürbishaar wohl durch die Strömung des Plasmas zustande, denn eigentliche Fibrillen lassen sich im Plasma wohl nur selten nachweisen und, wenn dies in abgetöteten und

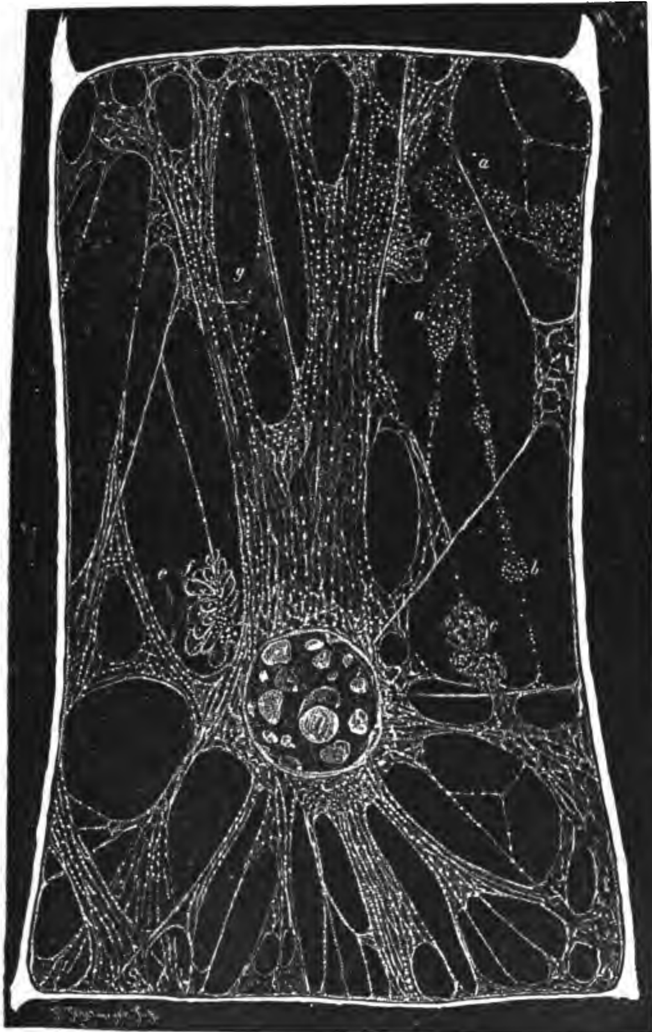


Fig. 6. Zytoplasma einer Haarzelle des Kürbis, Cucurbita pepo. Die Membran ist weiß eingetragen; der Plasmaschlauch, der ihr anliegt, ist außerordentlich dünn; von dem Kern gehen nach oben ein mächtiger Zytoplasmastrang, nach unten sehr zahlreiche zartere Stränge zur Membran. Bei *a* und *b* breiige Plasmatropfen, bei *c*, *d*, *e* und *f* wabige Massen und bei *g* und anderwärts segelartige Lamellen. Nach M. Heidenhain.

in bestimmter Weise behandelten Zellen gelingt, so handelt es sich meist um postmortale Kunstprodukte. Seine chemische Zusammensetzung ist eine sehr komplizierte, denn wie sich aus der Analyse des Plasmodiums von Aethalium septicum, das ein bestimmtes Entwicklungsstadium eines Schleimpilzes und zwar eine große Masse von nacktem Plasma darstellt, ergibt, besteht es aus etwa 71 % Wasser, verschiedenen Aschensubstanzen und zahlreichen organischen Körpern, unter denen die Eiweißkörper so vorherrschen, daß wir uns Lebendes ohne Eiweiß kaum vorstellen können.

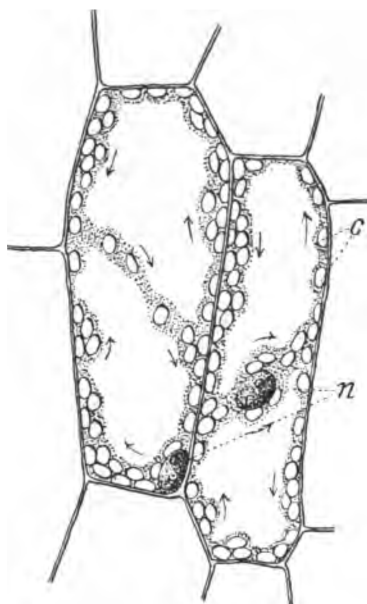


Fig. 7. Plasmaströmung in den Blattzellen von Vallisneria spiralis. *n* Zellkern, *c* Chlorophyllkörner. Die Pfeile geben die Richtung des Stromes an. Vgr. 500. Original.

Lebendes Plasma zeigt oft aktive Bewegungen. Die Amöben, die nackte Zellen vorstellen, ändern fortwährend ihre Gestalt und indem sie an einer Stelle Fortsätze, sogenannte Pseudopodien, ausstrecken, sie an einer anderen wieder einziehen, bewegen sie sich langsam weiter. Die männlichen Geschlechtszellen oder Spermatozoiden der Moose und Farne, die Schwärmsporen der Algen und zahlreiche Bakterien bewegen sich verhältnismäßig rasch im Wassertropfen.

Aber auch wenn die Zelle umhäutet ist, erscheint das Plasma nicht selten in deutlich sichtbarer Bewegung, und zwar bewegt es sich entweder nur längs der Wand (Rotation), oder nicht nur so, sondern von der Wand auch gegen das Innere und von hier wieder zur Wand (Zirkulation) (Fig. 7). Dabei bleibt die äußerste Schicht, die Hautschicht, in Ruhe.

Die Bewegung wird durch verschiedene im Plasma eingebettete Körper, z. B. durch den Zellkern und namentlich durch die Chlorophyllkörner, die die grüne Farbe der Pflanze bedingen, deutlich, weil sie von dem strömenden Plasma passiv mitgeschleppt werden. Zur Demonstration der Plasmaströmung eignen sich besonders gewisse Wasserpflanzen: die bekannte Aquariumpflanze Elo-

dea canadensis, Vallisneria spiralis, die Alge Nitella, ferner die Staubfadenhaare von Tradescantia und die Pollenschläuche verschiedener Pflanzen. Trennt man vorsichtig ein Elodeablatt vom Stengel und legt es in einen Wassertropfen, so zeigt sich unmittelbar darauf keine Bewegung. Nach etwa $^1/_2$ Stunde setzt sich nach und nach das Plasma, zunächst in der Mittelrippe, in Bewegung, und schließlich ist die Strömung fast in allen Zellen zu sehen. Bei Nitella wälzt sich ein mächtiger Plasmastrom durch die Zelle und schleppt zahlreiche Kerne und andere Inhaltskörper mit, während die Chlorophyllkörner hier ausnahmsweise in Ruhe verharren. Die Bewegung ist bei Nitella und vielen anderen Pflanzen auch im unverletzten Zustande zu sehen, es bedarf also nicht erst eines besonderen Wundreizes.

Die Geschwindigkeit, mit der sich das Plasma in der Zelle bewegt, ist sehr verschieden; sie schwankt bei gewöhnlicher Zimmertemperatur etwa zwischen 0 und 10 mm pro Minute. Bei der Betrachtung strömenden Plasmas im Mikroskop darf man nicht übersehen, daß die Bewegung sich nicht so rasch vollzieht als es scheint, denn die wirkliche Geschwindigkeit wird ja entsprechend der Vergrößerung vergrößert. Im allgemeinen bewegt sich das Plasma, wenn es schon ziemlich rasch strömt, kaum schneller als der große Zeiger einer Taschenuhr und dessen Bewegung erscheint natürlich im Mikroskop gleichfalls viel größer. Im wasserreichen Plasma wird wohl nirgends völlige Ruhe herrschen, doch müssen so überaus langsame Bewegungen selbst bei stärkeren Vergrößerungen nicht zur Wahrnehmung gelangen. Die raschesten Strömungen wurden an den Plasmodien der Schleimpilze beobachtet, die Geschwindigkeit betrug z. B. bei Didymium serpula 10 mm pro Minute.

Durch die Plasmaströmung werden die Stoffe innerhalb der Zelle förmlich umgerührt und es kann wohl kaum einem Zweifel unterworfen sein, daß durch die Strömung der Stoffwechsel und die Stoffwanderung wesentlich gefördert werden.

Solange das Plasma lebt, ist es gegenüber gewissen Farbstoffen, z. B. gegenüber dem Anthokyan, jenem bei Blütenpflanzen so verbreiteten Farbstoff, der uns viele Blüten und Früchte blau, violett oder rot erscheinen läßt, undurchlässig. Das Anthokyan kommt im Zellstoff gewöhnlich gelöst vor und, obwohl diese Lösung an das Plasma angrenzt, dringt auch nicht eine Spur in das Plasma ein. Sowie die Zelle aber getötet wird, sei es durch Hitze oder Gifte, hört diese räumliche Trennung sofort auf und der Farbstoff dringt nun leicht in das tote Plasma ein. Anilin-

farbstoffe wie Methylenblau, Neutralrot u. a. können jedoch, wenn sie in sehr verdünnter Form Wasserpflanzen geboten werden, das lebende Plasma durchdringen, und sich dann sogar hier so stark anhäufen, daß sie auskristallisieren.

Ähnlich wie mit dem Anthokyan verhält es sich auch mit Zucker und gewissen Salzen; für diese ist das lebende Plasma gleichfalls nicht oder nur schwer durchlässig, das tote aber leicht. Darauf beruht ja die leicht zu beobachtende Tatsache, daß beim Einlegen von lebenden Zellen in mäßig konzentrierte (10 %) Lösungen von Zucker oder Kalisalpeter das Plasma sich von der Wand zurückzieht und der Protoplast eine runde Form annimmt. Man nennt dieses Abheben des Protoplasmas von der Wand durch wasserentziehende Mittel Plasmolyse (Fig. 8). Die Plasmahaut verhält sich also nicht wie die Wand einer Schweinsblase, die auf dem Wege der Osmose sowohl Zucker als auch Wasser aus- und eintreten läßt, sondern sie ist nur halbdurchlässig, d. h. sie gestattet dem Wasser aus der Zelle den Austritt, aber dem Zucker und dem Salze nur schwer den Eintritt. So bleibt der osmotische Druck in der Außenlösung größer und die Folge davon ist, daß das Wasser dem Zellinhalt entzogen wird und Plasmolyse eintritt.

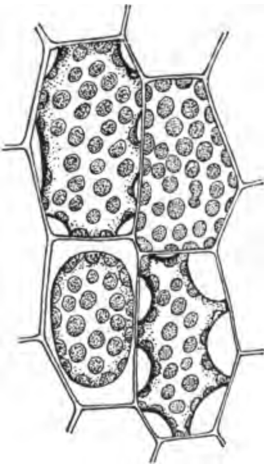


Fig. 8. Moosblattzellen, die aufeinanderfolgende Stadien der Plasmolyse zeigen. Vgr. 350. Original.

Wenn eine lebende rote Kirsche oder eine rote Salatrübe im Wasser keinen Farbstoff austreten läßt, so beruht dies auf der Halbdurchläßigkeit der Plasmahaut. Mit dem Eintritt des Todes hört die Semipermeabilität des Plasmas sofort auf und dann können Farbstoffe und Salze ungehindert ein- und austreten.

3. Der Zellkern.

Ein anderes, sehr wichtiges Organ der Zelle ist der Zellkern oder der Nukleus. Er wurde erst im Jahre 1831 von R. Brown mit einem einfachen Mikroskop entdeckt. Heute ist er fast in allen Zellen nachgewiesen, nur über sein Vorkommen bei den Bakterien und Blaualgen bestehen noch Zweifel, da mit der Kleinheit der

Zellen die Schwierigkeit seines Nachweises naturgemäß zunimmt. Der Zellkern liegt immer im Plasma und hebt sich häufig so wenig davon ab, daß er leicht übersehen werden kann. Durch eine bestimmte Methodik, durch rasche Abtötung oder Fixierung und nachträgliche Färbung wurde aber der Kern fast überall dort nachgewiesen, wo man darnach gesucht hat. Als Fixierungsmittel benützt man verschiedene, rasch tötende Flüssigkeiten und Lösungen (Alkohol, 1 proz. Essigsäure, 1 proz. Osmiumsäure usw.) und als Färbemittel Lösungen verschiedener Farbstoffe (Hämatoxylin, Methylgrün, Anilinviolett usw.). Der tote Kern hat nämlich die Eigenschaft, Farbstoffe in viel höherem Maße zu speichern als das Plasma, daher tritt er nach der Fixierung und Färbung im Plasma scharf hervor.

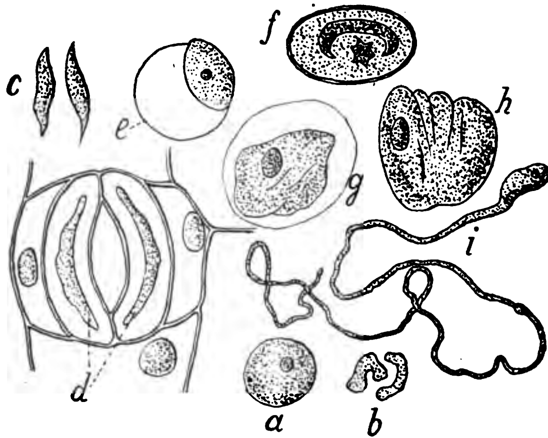


Fig. 9. Verschiedene Kernformen. *a* kugelig Neottia, *b* wurstförmig Chara, *c* spindelförmig Hyacinthus, *d* sichelförmig Tradescantia, *e* Blasenkern im Milchsaft von Musa, *f* Kerne im Pollenkorn von Tradescantia virginica, *g* und *h* Riesenkerne von Aloë saponaria, *g* mit deutlicher Membran, *h* gerippt, *i* fadenförmig Lycoris. Original.

Die Form. Der Kern ist meist rund, kugelig, scheiben-, spindel-, sichel-, selten blasen- oder fadenförmig (Fig. 9).

Die **Größe** schwankt sehr. Von kleinen, eben noch sichtbaren Pünktchen bis zu den Riesenkernen von 40 bis 80 μ, wie sie sich in den Sekretzellen von Aloëarten finden, gibt es viele Übergänge. Monokotylen und Nadelhölzer haben verhältnismäßig große, die Dikotylen im allgemeinen kleine Kerne. Doch gibt es viele Ausnahmen.

Zahl. In der Regel hat jede Zelle nur einen Kern. Die Pollenkörner der Angiospermen oder bedecktsamigen Gewächse haben zwei, lange Bastzellen haben einige, die Milchzellen der Wolfsmilcharten (Euphorbia) zahlreiche, Pilzhyphen mehrere bis viele und manche Algen sogar viele Hunderte bis Tausende (Cau-

lerpa, Bryopsis). Je größer die Zahl, desto kleiner gewöhnlich die Größe. Es hängt dies wahrscheinlich mit der Wirkungssphäre des Kernes zusammen. Wenn der Kern seinen Einfluß nur bis zu einer bestimmten Grenze geltend machen kann, so muß er in großen Zellen entweder sehr groß werden oder er muß in größerer Zahl auftreten und dann kann er klein bleiben.

Bau. Der Kern stellt ein lebendes, plasmatisches Organ dar und läßt verschiedene Teile unterscheiden: 1. fällt im Kern ein rundes, stark lichtbrechendes Gebilde, der Nukleolus oder das Kernkörperchen auf, das auch in der Zwei- oder Dreizahl auftreten kann; 2. findet sich im Kern ein ungemein feines Gerüstwerk von Körnchen und verschlungenen, undeutlichen Fäden; es ist das Chromatingerüst, das seinen Namen seiner Eigenschaft verdankt, Farbstoffe stark zu speichern; 3. wird der Kern gegen das Plasma von einer gewöhnlich undeutlichen Haut abgegrenzt, der Kernhaut; 4. besteht der übrige Teil aus Kernsaft.

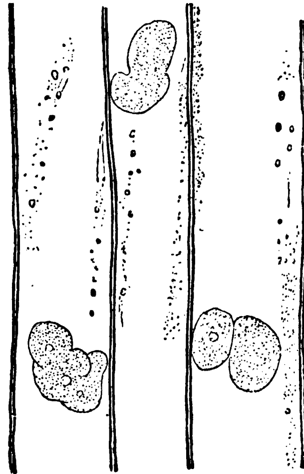


Fig. 10. Direkte Kernteilung in älteren Stengelzellen von Tradescantia virginica. Nach Strasburger.

Chemie. Vom Plasma unterscheidet sich der Kern durch seinen Gehalt an Nukleinverbindungen. Sie stehen dem Eiweiß sehr nahe, unterscheiden sich aber von diesem durch ihren hohen Phosphor- und Eisengehalt, sowie durch eine größere Widerstandskraft gegen gewisse eiweißlösende Fermente.

Entstehung. Der Kern entsteht nur aus seinesgleichen. Kerne leiten sich immer nur von Kernen ab. Alle Kerne einer vielzelligen Pflanze, auch die eines Baumes stammen in letzter Linie von dem Eikern ab.

Der Kern kann durch Teilung entstehen oder durch Verschmelzung. Die Teilung ist der gewöhnliche Fall und kann sich auf zweierlei Art vollziehen, direkt und indirekt. Die direkte Teilung wird Amitose, die indirekte Mitose oder auch Karyokinese genannt.

Die direkte Teilung kommt verhältnismäßig selten vor und spielt keine besondere Rolle. Sie vollzieht sich in der Weise,

daß der Kern sich etwas streckt und dann immer mehr und mehr einschnürt, bis er schließlich in zwei Hälften zerfällt (Fig. 10). In Charazellen, in Parenchymzellen des Stengels von Tradescantiaarten und in älteren Markzellen läßt sich Amitose leicht beobachten.

Karyokinese. Ungemein verbreitet ist die indirekte Teilung, denn fast alle Kerne einer vielzelligen Pflanze verdanken ihre Entstehung dieser Teilung. Während aber die Amitose keinerlei besondere organisatorische Veränderungen erkennen läßt, ist dies bei der Karyokinese in hohem Grade der Fall und da diese Gestaltungsvorgänge für die Biologie der Zelle von Wichtigkeit sind, so sollen sie gleich besprochen werden. Karyokinese kann leicht an embryonalen Geweben, z. B. an den Wurzelspitzen der Saubohne, Vicia faba, beobachtet werden, wenn die Gewebe zunächst fixiert, mit dem Mikrotom geschnitten und schließlich gefärbt werden.

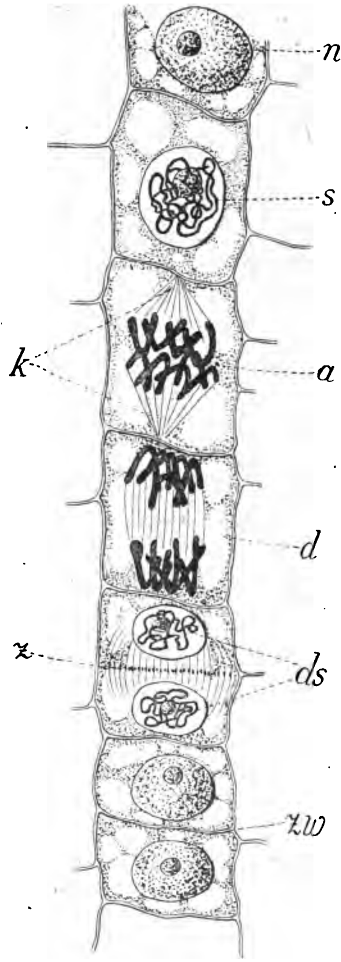


Fig. 11. Kernteilungsfiguren (Karyokinese) aus der Wurzelspitze der Saubohne, Vicia faba. Etwas schematisch. Vgr. 650. Original.

Die Fig. 11 zeigt ganz oben in einer Zelle einen ruhenden Kern *n* mit seinem feinen Chromatingerüst, das in Form einer feinen Punktierung erscheint. Wenn der Kern sich anschickt, sich karyokinetisch zu teilen, tritt das Chromatingerüst als ein lockerer Fadenknäuel *s* deutlich hervor. Dieses Stadium heißt Spirem. In der Folge zerfällt das Kerngerüst in eine bestimmte Anzahl von meist hufeisenförmigen Stücken, den Chromosomen, die sich in der Äquatorebene so anordnen, daß sie beiderseits ihre konvexen Seiten dieser zukehren. Dieses Stadium wird, weil die Chromosomen von oben gesehen, eine sternartige Figur *a* bilden, Aster genannt.

Schon während dieses Vorganges legen sich der Kernwandung Plasmafäden an und umgeben sie mit einer faserigen Schichte, die sich als Polkappen abheben. Innerhalb dieser differenzieren sich gleichfalls zarte Plasmafasern, die sich, während die Kernwand und die Nukleolen verschwinden, an die Chromosomen ansetzen und nach beiden Polen zusammenneigen. Dadurch entsteht die Kernspindel *k*. Nun kommt es zu einem wichtigen Vorgang: die Chromosomen spalten sich ihrer Länge nach, ihre Zahl wird dadurch verdoppelt und je eine Hälfte wandert an den Spindelfasern entlang zu den beiden Polen, wodurch die Figur Diaster *d* entsteht. Hier angelangt, treten die Chromosomen durch Fortsätze miteinander in Verbindung zu einem knäuelartigen Kerngerüst, das Spiremstadium tritt uns verdoppelt in dem Dispiremstadium *ds* entgegen. Gleichzeitig bildet sich eine neue Kernhaut und der Nukleolus und damit erscheint die Teilung des Kernes vollendet.

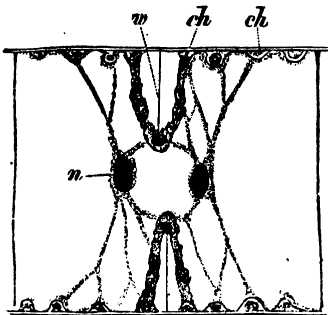


Fig. 12. Zentripetale (sukzedane) Querwandbildung bei Spirogyra. *n* Zellkern, *w* Querwand, *ch* Chlorophyllkörper. Nach Strasburger.

Hand in Hand mit der Kernteilung vollzieht sich bei einkernigen Zellen auch die Zellteilung. Sie bereitet sich bereits während des Dispiremstadiums dadurch vor, daß die Verbindungsfäden in der Äquatorebene kurze, stäbchenartige Verdickungen, die sogenannte Zellplatte *z* bilden. Durch Verschmelzung ihrer Teilchen entsteht eine gleichmäßige, plasmatische Hautschicht. Diese spaltet sich und scheidet zwischen den beiden Hälften eine neue Zellwand *z w* aus. In unserem Falle erfolgt die Bildung der Scheidewand zwischen den beiden Tochterzellen in der Trennungsebene an allen Punkten gleichzeitig (simultan). Bei größeren Zellen, wo die tonnenförmige Teilungsfigur sich nicht bis an die Membran der Mutterzelle anlehnt, oder bei Zellteilungen mit exzentrisch gelegenen Tochterkernkomplex, erfolgt die Wandbildung allmählich fortschreitend (sukzedan), indem die beiden Tochterkerne mit den Verbindungsfäden nach und nach die ganze Zelle durchqueren.

Die Querwandbildung bei den Thallophyten läßt die Beteiligung einer tonnenförmigen Zytoplasmafädenfigur vermissen und geht

häufig in der Weise vor sich, daß sich zunächst an die Wand der Mutterzelle eine ringartige Membranleiste ansetzt, die sich zentripetal ergänzt und schließlich die Mutterzelle in zwei Tochterzellen zerlegt (Fig. 12).

Diese merkwürdigen organisatorischen Veränderungen, die sich in den Kernteilungsbildern in so auffallender Weise bemerkbar machen und die offenbar darauf hinauslaufen, das Chromatingerüst zu je einer Hälfte auf die Tochterkerne zu übertragen, werden unter der Annahme verständlich, daß hauptsächlich die Chromosomen die Träger der Vererbung sind, in ihnen die Eigenschaften der Eltern niedergelegt erscheinen und sie die Erbmasse oder das Idioplasma darstellen. Sollen die Nachkommen den Eltern gleichen, so müssen auf jene die verschiedenen Anlagen der Eltern zu gleichen Teilen übertragen werden und das geschieht eben der Hauptsache nach durch die Chromosomen.

Bei der geschlechtlichen Fortpflanzung, die ja im wesentlichen auf einer Verschmelzung des Eikernes mit dem Kern der männlichen Geschlechtszelle, dem Spermakern, beruht, müßte sich aber die Zahl der Chromosomen im befruchteten Kern verdoppeln. Dadurch würde aber die Beständigkeit der Chromosomenzahl gestört und, um dies zu vermeiden, tritt in jenen Zellen, die eine neue Generation vorbereiten, in den Sporenmutterzellen der höheren Sporenpflanzen, in den Pollenmutterzellen und in der Embryosackmutterzelle der Phanerogamen eine Verminderung der Chromosomen auf die Hälfte ein, indem während der Kernteilung je zwei Chromosomen miteinander verschmelzen. Durch diese Reduktionsteilung wird erzielt, daß die normale Zahl der Chromosomen erhalten bleibt. Bezeichnet man ihre Anzahl in den Geschlechtszellen mit x, so ist die der vegetativen (Körperzellen) $2x$. Kerne mit x-Chromosomen heißen haploid und die mit $2x$ diploid. Die sich geschlechtlich fortpflanzenden Lebewesen lassen somit eine haploide und eine diploide Periode oder, wie man es heute auch ausdrückt, eine x- und eine $2x$-„Generation" unterscheiden, die je nach der Art der Pflanzen verschieden großen Umfang haben kann. Die heterosporen Kryptogamen und die Phanerogamen entfalten fast nur diploide, die Moospflanzen nur haploide Kerne, während die darauf entstehende, durch die Moosfrucht repräsentierte Generation, diploide Kerne besitzt.

Die Zahl der Chromosomen ist bei jeder Pflanzenart in der Regel bestimmt und kann bei diploiden Kernen 8—132 be-

tragen. Die Gymnospermen haben meist 24 (12), viele Liliaceen 16 (8) oder 24 (12) Chromosomen. Die Chromosomenzahl verwandter Arten verhält sich oft wie 2:4 oder wie 2:3:4.

Mit der Eigenschaft des Kerns, die Vererbung zu vermitteln, wobei die Frage, inwieweit auch das Plasma dabei beteiligt ist, unbesprochen bleiben muß, ist aber die Funktion des Zellkerns nicht erschöpft. Es läßt sich zeigen, daß er auch an der Wandbildung einen hervorragenden Anteil hat und bei der Regeneration von verletzten Infusorien eine wichtige Rolle spielt.

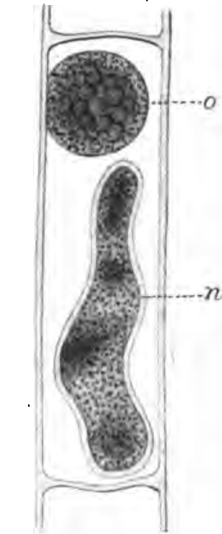


Fig. 13. Bedeutung des Kerns für die Zellhautbildung. Zelle von Zygnema. Das Plasmastück mit dem Kern *n* hat sich mit einer Zellhaut umgeben, das andere kernlose *o* nicht. Nach Klebs.

Es gibt Infusorien, die so groß sind, daß man sie noch in zwei Stücke teilen kann, von denen das eine den Kern enthält, das andere nicht. Nur das kernhaltige Stück vermag sich zu einem neuen Individuum zu regenerieren, das kernlose aber nicht. Dieses stirbt bald ab. Der Kern ist also für die Regeneration des Infusoriums und seinen Bestand von ausschlaggebender Bedeutung.

Eine ähnliche Beobachtung läßt sich bei Algen machen. Wird die Fadenalge Zygnema mit 16—20proz. Zuckerlösung plasmolysiert, so kommt es nicht selten vor, daß der Protoplast infolge rascher Wasserentziehung in zwei annähernd gleiche Hälften zerfällt, die sich bloß dadurch unterscheiden, daß nur die eine einen Kern besitzt. Wird eine solche Zelle in Zuckerlösung am Lichte weiter kultiviert, so umgibt sich nur das kernhaltige Stück mit einer neuen Zellhaut, wächst in die Länge und teilt seinen Chlorophyllkörper. Das kernlose Stück zeigt diese Veränderungen nicht (Fig. 13). Also zeigt sich auch hier der große Einfluß des Kerns auf die Zelle.

Verschiedene Beobachtungen, die darauf hinauslaufen, daß der Zellkern in sich entwickelnden Pflanzenzellen sich meist jenen Stellen nähert, wo sich das Wachstum mit größter Intensität vollzieht oder am längsten andauert, gehören gleichfalls hierher.

Im Anschluß sei noch des merkwürdigen Verhaltens des Zellkerns gegenüber Wunden gedacht. Es äußert sich darin, daß

nach einer Verwundung, sei es durch einen Schnitt oder sei es durch einen Stich oder durch Brennen, Zellkern und Plasma sich jener Zellhaut nähern oder ganz an sie anlegen, die der Wundfläche zugewendet ist (Fig. 14). Hier handelt es sich wahrscheinlich um eine Reizbewegung.

Zentrosom. In tierischen Zellen hat man ein außerordentlich kleines, rundes Gebilde, Zentrosom genannt, gefunden, das bei der Teilung des Kerns sich auch teilt, strahlige Figuren um sich herum bildet und vielleicht zur Teilung des Kerns in Beziehung steht. Im Pflanzenreiche hat man Zentrosomen nur bei gewissen Algen (Fucus), Pilzen und bei Lebermoosen nachgewiesen.

Chromatophoren.

Im Plasma finden sich oft lebende, plasmatische Gebilde, die als Farbstoffträger oder Chromatophoren bezeichnet werden. Enthalten sie grünen Farbstoff oder Chlorophyll und sind sie grün, so werden sie als Chloroplasten oder Chlorophyllkörner bezeichnet. Erscheinen sie gelb, orangerot oder rot gefärbt, so heißen sie Chromoplasten, und sind sie gar nicht gefärbt, Leukoplasten. Alle drei werden zusammen auch als Plastiden zusammengefaßt.

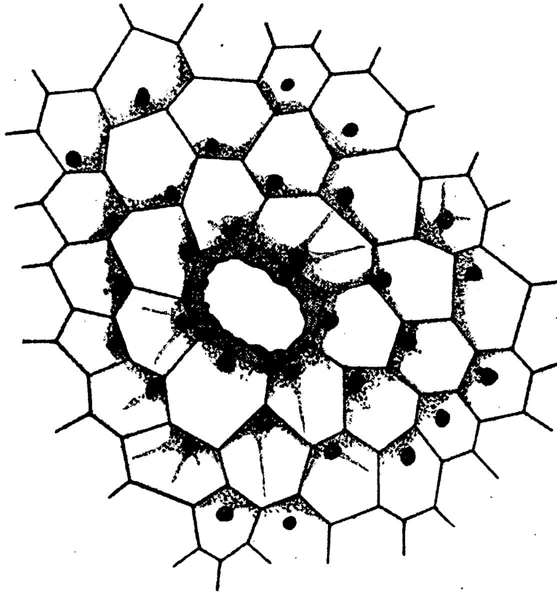


Fig. 14. Wanderung des Zellkerns zur Wunde. Oberhaut der Blattoberseite von Tradescantia zebrina mit einer Stichwunde in der Mitte. Die früher zentral gelegenen Kerne wandern innerhalb 18 Stunden zur Wunde. Nach Nestler.

Chlorophyllkörner. Sie kommen, abgesehen von den Pilzen, fast allgemein verbreitet vor. Wiese und Wald verdanken ja den Chlorophyllkörnern ihre grüne Farbe. Sie sind gewöhnlich kugelig oder linsenförmig (s. Fig. 7). Seltener kommt ihnen eine

andere Form zu, wie bei manchen Algen: bei Spirogyra (Fig. 15) zeigt der Chlorophyllkörper die Form eines Schraubenbandes, bei Zygnema die eines Doppelsternes (Fig. 29), bei Sphaeroplea die eines Ringes (Fig. 15) und bei Mesocarpus die eines geraden Bandes.

Das Chlorophyllkorn enthält zwei sehr nahverwandte grüne Farbstoffe. Chlorophyll *a* und Chlorophyll *b* — wir wollen beide zusammen kurz als Chlorophyll bezeichnen — und zwei gelbe, Karotin und Xanthophyll. Alle lassen sich leicht durch warmen Alkohol in Lösung bringen und die grünen können dann von den gelben leicht getrennt werden, wenn man sie mit Benzol ausschüttelt. Das spezifisch leichtere Benzol nimmt das Chlorophyll auf, während die gelben Farbstoffe im Alkohol verbleiben. Das Chlorophyll zeichnet sich durch eine starke, rote Fluoreszenz und ein charakteristisches Absorptionsspektrum aus. Die Formel des Chlorophylls ist $C_{55}H_{72}O_6N_4Mg$, die des Karotins $C_{40}H_{56}$ und die des Xanthophylls $C_{40}H_{56}O_2$. Nach der Auflösung der Farbstoffe bleibt die plasmatische Grundlage, die zum großen Teile aus Eiweiß besteht, zurück.

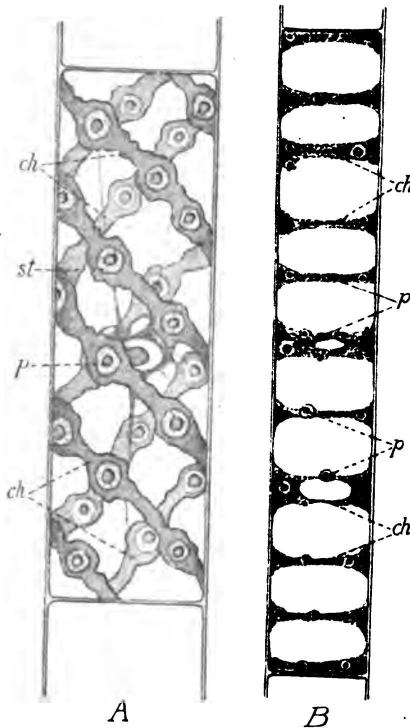


Fig. 15. Chlorophyllkörper *ch*: schraubenförmig bei Spirogyra *A* und ringförmig bei Sphaeroplea *B*. Mit Pyrenoiden *p* und Stärkeherden *st*. Vgr. 335. Original.

Bei den Rotalgen oder Florideen kommt neben den genannten Farbstoffen noch ein roter, das Phykoerythrin und bei den Blaualgen oder Cyanophyceen noch ein blauer bis violetter, das Phykocyan vor. Beide Pigmente sind kristallisierende Eiweißstoffe.

Pyrenoide. Bei zahlreichen Algen und dem Lebermoos Anthoceros findet man im Chromatophor einen oder mehrere, meist kugelige Körper, die dem Chlorophyllkorn ähnlich eingelagert sind

wie der Nukleolus dem Zellkern, und denen man daher den Namen „Pyrenoide" (πυρὴν = Kern) gegeben hat. Treten Stärkekörner in solchen Chromatophoren auf, so entstehen sie stets um das Pyrenoid herum und umgeben es wie mit einer Hülle. Es besteht offenbar eine Beziehung zwischen dem Pyrenoid und der Entstehung der Stärke; man hat diese lokalen Stärkeanhäufungen auch schon früher beobachtet und als „Stärkeherde" bezeichnet. Das Pyrenoid besteht aus einer eiweißartigen Grundmasse, häufig mit einem Eiweißkristall und der schon erwähnten Stärkehülle. Von dem Aussehen und der Lagerung der Pyrenoide gibt die Fig. 15 eine gute Vorstellung.

Den Chlorophyllkörnern kommt eine große Bedeutung zu, denn sie stellen den einzigen Ort in der grünen Pflanze vor, in dem aus Kohlensäure und Wasser, also aus rein anorganischer Substanz im Lichte organische entsteht.

Chromoplasten. Viele gelbe Blüten (Ranunculus, Kompositen) und zahlreiche rote Früchte (Paradiesapfel, Vogelbeere, Rose) verdanken ihre auffallende Färbung den Chromoplasten. Sie rührt von verschiedenen Karotinen her. Der Farbstoff tritt oft in so konzentrierter Form auf, daß er auskristallisiert. In der Gestalt der Chromoplasten zeigt sich eine große Mannigfaltigkeit. Sie sind kugelig, linsen-, spindelförmig, lappig oder kristallartig (Fig. 16).

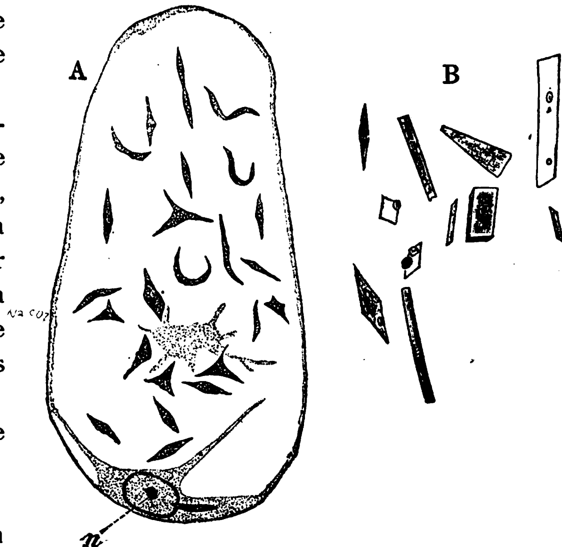


Fig. 16. Chromoplasten. *A* Zelle aus dem Fruchtfleisch von Crataegus coccinea. *n* Zellkern, *B* Farbkörper aus der Wurzel der gelben Rübe, Daucus carota, zum Teil mit Stärkeeinschlüssen. Nach Strasburger.

Zuweilen ist es schwer, eine scharfe Grenze zwischen Chloro- und Chromoplasten zu ziehen, denn die grünen Chlorophyllkörner von Aloëarten werden im intensiven Sonnenlicht des Frühlings granatrot, nach einiger Zeit aber wieder rein grün. Ähn-

liches läßt sich bei Potamogetonarten im Sommer beobachten.

Leukoplasten. Fast alle Chloro- und Chromoplasten sind ursprünglich in ganz jungen Zellen farblos, sind also Leukoplasten. Aus diesen entwickeln sich die gefärbten Farbstoffträger, sie können aber auch zeitlebens farblos bleiben wie dies z. B. bei den Leukoplasten in der Oberhaut der Orchideen und Commelineen der Fall ist (Fig. 17). Auch die Stärkekörner der Reservestoffbehälter entstehen stets unter Mitwirkung von Leukoplasten, die in diesem Falle als Stärkebildner bezeichnet werden. Die Form der Leukoplasten ist meist kugelig oder spindelig.

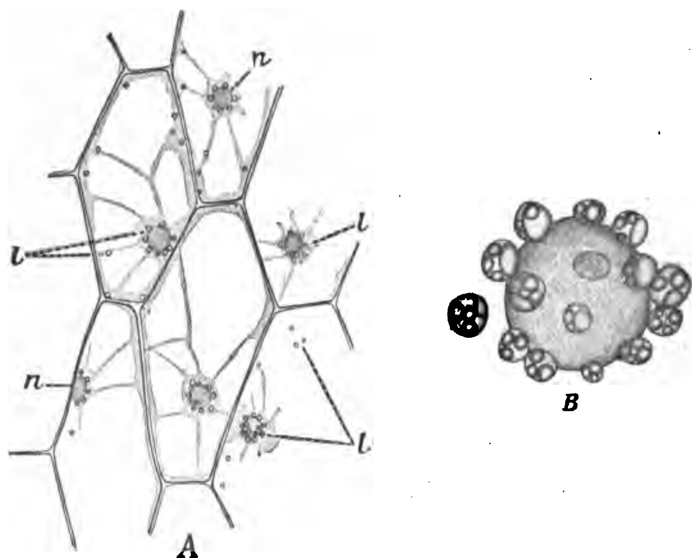


Fig. 17. A Leukoplasten in den Epidermiszellen von Dichorisandra discolor. *n* Kern, *l* Leukoplasten um die Kerne angehäuft. Vgr. 180. B Leukoplasten um einen Zellkern. Vgr. 1140. Original.

Alle Chromatophoren oder Plastiden entstehen immer nur aus ihresgleichen. Sie stellen wohl individualisierte Gebilde dar, die sich stets durch Teilung auseinander entwickeln. Alle Chlorophyllkörner, Chromo- und Leukoplasten einer Pflanze stammen von den Plastiden ab, die sich bereits in den Embryonalzellen, in den Eizellen, Sporen und Vegetationspunkten (S. 49) vorfinden.

Stärke- und Proteinkörner.

Stärke. In den meisten belichteten Chlorophyllkörnern entsteht als erstes mikrochemisch nachweisbares Produkt aus Kohlen-

säure und Wasser Stärke in Form von kleinen Körnchen oder Stäbchen (Fig. 18 I). Diese bei der Kohlensäureassimilation im Chlorophyllkorn sich bildende Stärke sei als autochthone Stärke bezeichnet. Während der Nacht wird diese durch das Ferment Diastase aufgelöst und in Zucker umgewandelt, der nach den Orten des Bedarfs auswandert oder, wenn kein Bedarf vorhanden ist, in gewissen Organen, Wurzelstöcken, Zwiebeln, Knollen, Samen und holzigen Stämmen als Reservestoffstärke (Fig. 18 III) gespeichert wird.

Auf dem Wege zu den wachsenden Teilen oder zu den Reservestoffbehältern kann der Zucker vorübergehend oder auch

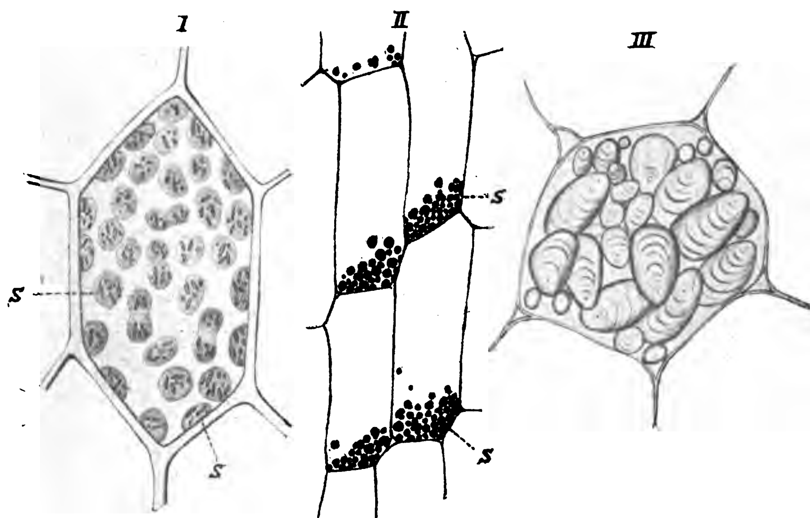
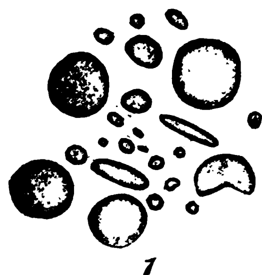


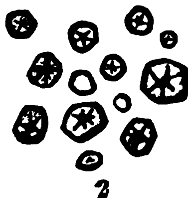
Fig. 18. Stärke. I. Zelle eines Moosblattes (Mnium), erfüllt von Chlorophyllkörnern. In diesen Körnchen und Stäbchen: die autochthonen Stärkekörnchen *s*. Vgr. 450. II. Tangentialschnitt durch die Stärkescheide des Keimstengels von Phaseolus multiflorus. An der Basis der Zellen die transitorische Stärke *s*. Vgr. 180. III. Reservestärke in der Parenchymzelle einer Kartoffelknolle. Vgr. 180. Original.

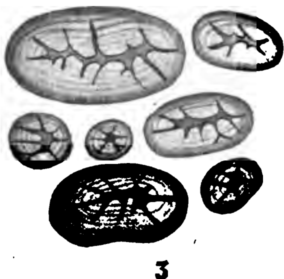
dauernd wieder in Stärke, in die sogenannte transitorische oder wandernde Stärke umgewandelt werden (Fig. 18 II).

Die Stärke tritt gewöhnlich in Form runder Gebilde auf, weshalb man kurz von Stärkekörnern spricht. Abgesehen von den kugeligen Formen kommen auch ellipsoidische (Kartoffel, Bohne), linsenförmige (Roggen, Weizen, Gerste), polygonale (Mais, Reis), ja im Milchsaft der Euphorbien sogar stab-, sanduhr- oder knochenförmige Gestalten vor (Fig. 19).

Viele Stärkekörner zeigen einen konzentrisch oder exzentrisch gelegenen Mittelpunkt oder Kern und um ihn herum eine entsprechend gelagerte Schichtung, die der Ausdruck einer Wechsellagerung wasserarmer und wasserreicher Schichten ist.







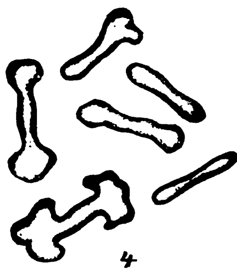


Fig. 19. Stärkearten. 1. Weizen, Triticum vulgare. 2. Mais, Zea mais. 3. Feuerbohne, Phaseolus multiflorus. 4. Wolfsmilch, Euphorbia splendens, aus dem Milchsaft. Vgr. 350. Original.

Die Körner sind entweder einfach (Fig. 19), zusammengesetzt oder halb zusammengesetzt (Fig. 20). Zusammengesetzte werden aus zwei bis drei, vielen, hunderten oder tausenden Einzelkörnern aufgebaut. Wenn in einem zusammengesetzten Korn jedes Teilkorn seine eigene Schichtung hat und alle zusammen noch von einem gemeinsamen Schichtensystem umgeben sind, so spricht man von einem halb zusammengesetzten Korn (Fig. 20).

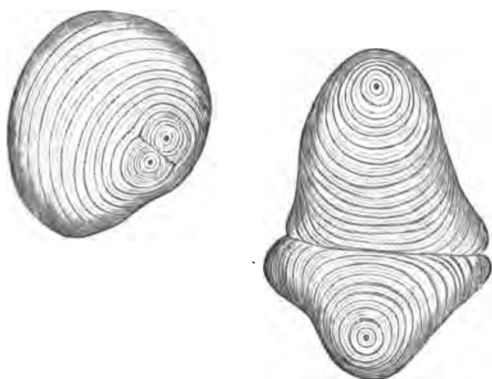


Fig. 20. Stärkekörner aus dem Wurzelstock vom Blumenrohr, Canna indica. — Links ein halb — rechts ein echtzusammengesetztes Korn. Vgr. 540. Nach Strasburger.

Die Größe der Stärkekörner kann sehr verschieden sein: Reis 3—10 μ, Mais 10—30 μ, die Groß-

körner vom Roggen 35—52 μ, Bohne 24—57 μ und Kartoffel 50—100 μ.

Das Stärkekorn besteht der Hauptmasse nach aus einem Kohlehydrat $(C_6H_{10}O_5)n$, der Amylose. Diese färbt sich mit



Fig. 21. Stärkekörner aus der Kartoffelknolle im polarisierten Licht bei gekreuzten Nicols. Jedes Korn zeigt ein dunkles Kreuz. Rechts ein zweifach zusammengesetztes Korn. Original.

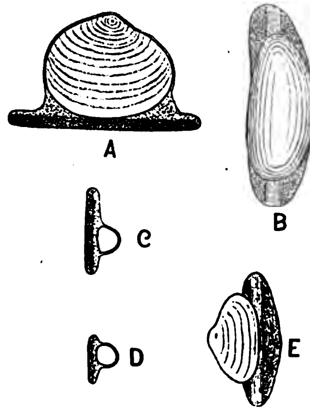


Fig. 22. Stärkebildner aus der Scheinknolle von Phajus grandifolius. *A*, *C*, *D* und *E* von der Seite, *B* von oben, *C* und *D* mit noch kleinen Stärkekörnern. *E* schon grün gefärbt, eine Übergangsform zu den Chlorophyllkörnern. Vgr. 540. Nach Strasburger.

wässeriger Jodlösung in der Regel blau. Das Stärkekorn wird als ein Sphärokristall aufgefaßt, der sich aus lauter haarförmigen, radiär gelagerten Kriställchen aufbaut.

Im polarisierten Lichte zeigt jedes einfache Korn bei gekreuzten Nikols Aufhellung und ein dunkles Kreuz, dessen Arme sich stets im Kerne schneiden (Fig. 21). Beim Erhitzen der Stärke im Wasser auf 60—87° C quillt die Stärke zu einer mehr oder weniger gleichartigen Masse, dem Kleister, auf.

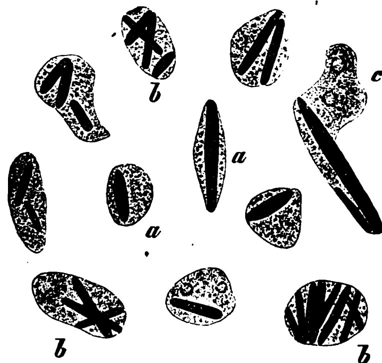


Fig. 23. Stärkebildner aus dem Milchsaft von Euphorbia lathyris. *a* mit einem, *b* mit mehreren Stärkestäbchen, *c* mit nukleolenähnlichen Einschlüssen und 2 Stärkestäbchen. Original.

Wie bereits bemerkt, entstehen die Stärkekörner stets unter Vermittlung lebender plasmatischer Gebilde, der Chlorophyllkörner und der Stärkebildner. Bei einigen Pflanzen, z. B. den Scheinknollen der Orchidee Phajus, im Milchsaft von Euphorbia-Arten und im Stengel von Pellionia Daveauna, läßt sich, solange das Stärkekorn noch wächst und jung ist, der Stärkebildner oder das Chlorophyllkorn mit darin eingeschlossenem Stärkekorn leicht beobachten (Fig. 22 und 23). Je größer aber das Stärkekorn wird, desto kleiner wird der Stärkebildner, bis schließlich an dem ausgewachsenen Stärkekorn vom Bildner nichts oder fast nichts mehr zu sehen ist.

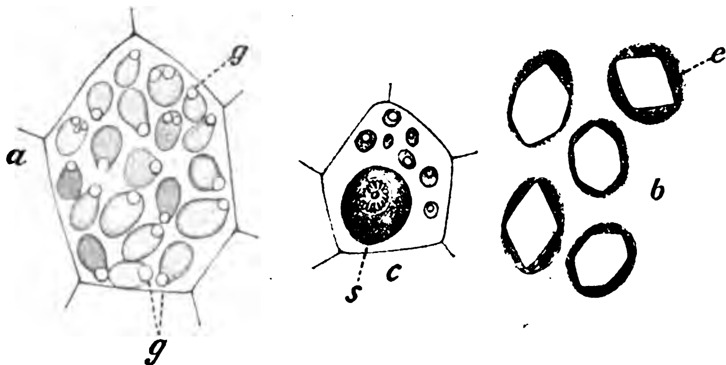


Fig. 24. Proteinkörner. a) Zelle aus dem Endosperm von Ricinus communis, erfüllt mit Proteinkörnern. Der helle Hof in denselben ist das Globoid *g*. Olivenölpräparat. Vgr. 250. b) Einzelne Proteinkörner derselben Zelle nach Behandlung mit Pikrinsäure und Eosin. Die Eiweißkristalle *e* treten deutlich hervor, die Globoide sind verschwunden. Vgr. 350. c) Zelle aus dem Samen von Vitis vinifera mit einem großen Proteinkorn und einigen kleineren. Das große *s* enthält eine Druse von oxalsaurem Kalk. Olivenölpräparat. Vgr. 250. Original.

Die Stärke bildet einen der wichtigsten Baustoffe der Pflanze. Überall, wo die Bildung neuer Organe, wo also Wachstum vor sich geht, wird etwa vorhandene Stärke zum Aufbau neuer Zellen herangezogen. Daher sehen wir die Stärke im Pflanzenreiche ungemein verbreitet, denn abgesehen von den Pilzen, gewissen Algengruppen, den Kieselalgen, Blaualgen, Braunalgen und gewissen Blütenpflanzen wird Stärke selten in einer Pflanze vermißt.

Proteinkörner. Einen anderen wichtigen, wenn auch nicht so weit verbreiteten, geformten Bestandteil des Zellinhaltes bilden die Aleuron- oder Proteinkörner, früher auch Klebermehl genannt. Sie kommen ausschließlich in Samen, vornehmlich in fetthaltigen

vor. Man kann die Aleuronkörner leicht beobachten, wenn man dünne Schnitte durch das Endosperm des Rizinussamens in Öl präpariert (Fig. 24). Das Nährgewebe baut sich aus dünnwandigen, polygonalen Zellen auf, die unter anderem neben viel Fett (Ricinusöl) zahlreiche runde Körner, die Proteinkörner enthalten. Das Korn besteht der Hauptmasse nach aus Eiweiß. Es setzt sich zusammen aus einer amorphen eiweißartigen Grundmasse und zweierlei Einschlüssen, Eiweißkristallen und ein oder mehreren runden Gebilden, Globoiden. Letztere bestehen aus dem Kalzium- und Magnesiumsalz einer gepaarten Phosphorsäure mit einem organischen Paarling. In anderen Aleuronkörnern können die Eiweißkristalle und Globoide ganz fehlen und an ihrer Stelle können Kristalle von Kalkoxalat auftreten. Die erwähnten Einschlüsse sind entweder in der Ein-, Zwei- oder Mehrzahl vorhanden.

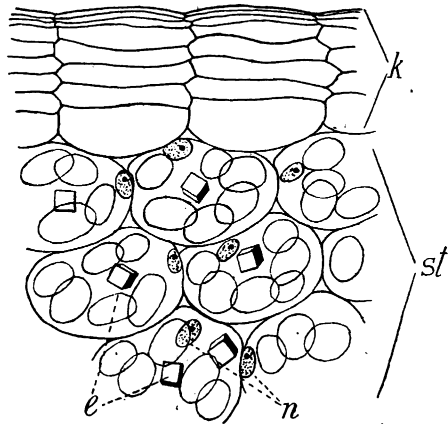


Fig. 25. Eiweißkristalle *e* knapp unter der Korkhaut *k* der Kartoffelknolle im Stärkeparenchym *st*. — *n* Zellkern. Vgr. 240. Original.

Die Größe der Proteïnkörner schwankt zwischen 1—60 μ. Ziemlich große finden sich in den Lupinen, verhältnismäßig kleine in der sogenannten Kleberschichte der Getreidesamen und in der Erbse. Die Aleuronkörner kommen in den Samenzellen entweder allein für sich oder vermengt mit Stärkekörnern vor. Eine Unterscheidung beider kann leicht getroffen werden, denn mit Jodlösung färbt sich die Stärke blau und das Aleuron braun.

Während die Stärkekörner unter Vermittlung von Plastiden entstehen, bilden sich im Gegensatz hierzu die Proteïnkörner aus je einer Vakuole, die bei der Reifung des Samens gewisse Stoffe speichert und dann beim allmählichen Eintrocknen des Samens ausfallen bzw. auskristallisieren läßt. Ebenso wie die Stärke bildet auch das Aleuron einen Reservestoff, der bei der Keimung der Samen zum Aufbau neuer Zellen in ausgiebiger Weise herangezogen wird.

Kristalle.

Wenn man von den im Pflanzenreiche weit verbreiteten Kalkoxalatkristallen absieht, kommen Kristalle nicht gerade häufig vor.

Daß **Eiweißkristalle** in Aleuronkörnern als Einschlüsse auftreten können, wurde bereits bemerkt. Auch in den Zellkernen gewisser Pflanzen (Lathraea, Pinguicula usw.), im Milchsafte von Musa und Amorphophallus und in den Chromatophoren verschiedener Pflanzen kommen sie vor. Sehr bekannt sind auch die Eiweißwürfel, die sich in den Parenchymzellen knapp unter der braunen Schale der Kartoffelknolle vorfinden (Fig. 25).

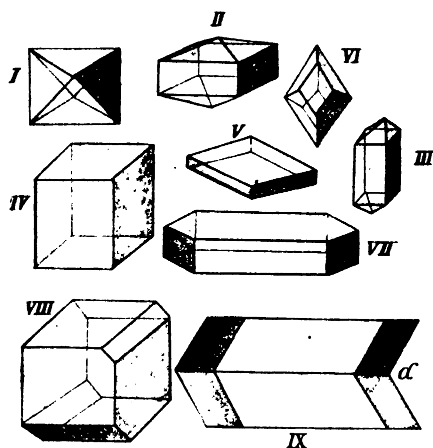


Fig. 26. Kristalle von oxalsaurem Kalk. *I* Tetragonale Pyramide, *II* und *III* Kombination von Pyramide und Prisma, *IV* monoklines Rhomboeder, *V* rhombische Tafel, *VI* wahrscheinlich eine Kombination von positiver und negativer Hemipyramide mit der Basis, *VII* Kombination der rhombischen Tafel mit dem Klinopinakoid, *VIII* eine Kombination des Rhomboeders mit einer Hemipyramide, *IX* Zwillingskristall. Nach Zimmermann.

Kalkoxalat. Es gibt nur wenige Pflanzenfamilien, denen dieses Salz fehlt. Kiesel-, Blaualgen und Schachtelhalme erzeugen nie Kalkoxalatkristalle. Ihre Gestalten, von denen die Figuren 26 und 27 die häufigsten darstellen, gehören dem tetragonalen oder monoklinen System an, je nachdem sie sechs oder zwei Äquivalente Kristallwasser enthalten. Eine besondere Erwähnung verdienen die nadelförmigen Formen oder Raphiden, die, oft in großer Zahl zu einem Bündel vereint und von Schleim umhüllt, in der Zelle liegen. Ferner sternartige Drusen und Haufen außerordentlich kleiner Kristalle, die als sogenannter Kristallsand die ganze Zelle erfüllen, z. B. in den Blättern des Tabaks und anderer Solaneen.

Die Kristalle von oxalsaurem Kalk entstehen gewöhnlich in Vakuolen und liegen daher im Zellinhalt. Seltener treten sie in der Zellhaut auf, wie dies in der Oberhaut von Dracaena und

in den sternartigen Grundgewebszellen des Blattstiels der Seerosen (Nymphaea) der Fall ist.

Das Kalkoxalat stellt in der Regel einen Auswurfstoff, also ein Endprodukt des Stoffwechsels dar. Daher sehen wir dieses Salz häufig in großer Menge in Organen und Geweben angehäuft, die von der Pflanze von Zeit zu Zeit abgestoßen werden: in Blättern und in der Borke. Obwohl ein Auswurfstoff, kann das Kalkoxalat der Pflanze dennoch von Nutzen sein, denn die vorhin erwähnten Raphiden stellen ein gutes Schutzmittel gegen Tierfraß dar. Es läßt sich leicht zeigen, daß die wie kleine Dolche wirkenden Kristalle Schnecken und andere Tiere abhalten, Pflanzen mit Raphiden zu fressen. Welche Wirkung Raphiden auch auf den Menschen ausüben können, davon kann sich jeder leicht überzeugen, wenn er ein Stückchen des Blattes vom Aronstab (Arum maculatum) kaut. Die in die Schleimhäute der Zunge und Lippen eindringenden Kriställchen rufen sofort ein heftiges Brennen hervor. —

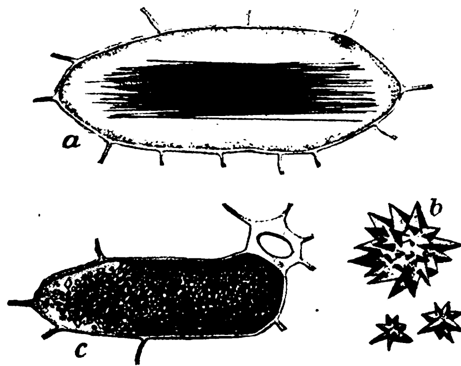


Fig. 27. Kristalle von oxalsaurem Kalk. Vgr. 325. a) Raphidenbündel aus dem Fruchtknoten vom Schneeglöckchen, Galanthus nivalis. Das Bündel von Schleim und dieser von Plasma, in dem der Zellkern liegt, umgeben. b) Drusen von Opuntia grandis. c) Kristallsandzelle aus der Rinde vom Hollunder, Sambucus nigra mit angrenzender Bastzelle. Original.

Nicht selten entstehen auch Kristalle erst (nach dem Absterben aus konzentrierten Lösungen) durch Austrocknen der Gewebe, z. B. die Zuckerkristalle bei getrockneten Feigen. Oder es bilden sich Kristalle durch chemische Umsetzungen nach dem Tode, wie die seidenglänzenden Vanillinkristalle auf den Fruchtkapseln der Vanille, Vanilla planifolia.

Fette, ätherische Öle und Harze.

Fette. Zu den häufigen Bestandteilen des Plasmas oder des Zellsaftes gehören auch die fetten Öle oder Fette. Spärlich treten sie in Form kleiner Tröpfchen im Plasma verschiedener Zellen, reichlich in Samen und Früchten auf. Die meisten Pflanzenfette

werden ja aus diesen gewonnen. Sie dienen dort, wo sie in großen Mengen angehäuft sind, als Reservestoffe und spielen eine ganz ähnliche Rolle wie die Kohlehydrate Zucker und Stärke.

Ätherische Öle und **Harze** sind gleichfalls ziemlich verbreitet. Manche Pflanzenfamilien sind durch diese Stoffe geradezu ausgezeichnet: Labiaten, Myrtaceen, Umbelliferen, Rutaceen, Coniferen usw.

4. Der Zellsaft

ist eine Lösung zahlreicher anorganischer und organischer Stoffe im Wasser. Seine Reaktion ist meist eine schwach saure, seltener eine neutrale oder gar schwach alkalische.

Säuren. Die saure Reaktion rührt von organischen Säuren oder deren sauren Salzen her. Oxal-, Apfel-, Essig-, Ameisen-, Weinsäure und andere treten häufig auf. Der Sauerklee, Sauerampfer und die Begonien enthalten so viel saures oxalsaures Kali oder Kleesalz, daß man die Säure schon schmeckt. Die Fettpflanzen oder Sukkulenten (Sempervivum, Sedum) strotzen von apfelsauren Salzen.

Zucker. Ungemein häufig enthält der Zellsaft verschiedene Zuckerarten, insbesondere reduzierenden Zucker und Rohrzucker. Das Zuckerrohr, die Zuckerrübe, der Ahornbaum und gewisse Palmen sind ja unsere Hauptquellen für Zucker. Die Häufigkeit des Zuckers darf nicht wundernehmen, denn die im Chlorophyllkorn bei Tage gebildete Stärke wird ja während der Nacht in Zucker umgewandelt und dieser wandert dann unter zeitweiser Wiederverwandlung in Stärke als wichtiger Bau- und Atmungsstoff nach den Orten des Verbrauchs.

Inulin. Für Zucker kann das Kohlehydrat Inulin einspringen. Dies ist für gewisse Pflanzenfamilien geradezu charakteristisch, z. B. für die Korbblütler (Kompositen), Glockenblumen (Campanulaceen) und Lobeliaceen. Das Inulin ist im Zellsaft stets gelöst. Wird eine Wurzelknolle der Georgine, die sehr viel Inulin enthält, in Alkohol eingelegt, so kristallisiert es nach einiger Zeit in Form von Sphärokristallen heraus, die Parenchymzellen oft auf weite Strecken erfüllend (Fig. 28).

Anthokyan. Einer der häufigsten Pflanzenfarbstoffe ist das Blumenblau oder Anthokyan. Sehr zahlreiche rote, violette und blaue Blüten und viele Früchte, die roten Backen der Äpfel und Aprikosen, rote Blätter (Blutbuche) und sogar manche Wurzeln

(Weide) verdanken ihre Färbung dem Anthokyan. Dieser Farbstoff findet sich fast immer im Zellsaft gelöst vor und hat die Eigenschaft, in neutraler Lösung violett, in saurer rot und in sehr schwach alkalischer blau bis grün zu erscheinen. Wenn man sich durch Auskochen im Wasser aus Rotkraut eine Anthokyanlösung bereitet, kann man sich durch Hinzufügen einer Spur von Alkali oder Säure leicht davon überzeugen. Je nachdem der Zellsaft viel oder gar keine Säure oder vielleicht eine Spur Alkali enthält, wird auch der Farbenton dementsprechend ein verschiedenartiger sein und so erklärt sich auf einfache Weise die bunte Mannig-



Fig. 28. Inulinsphärite im Parenchym der Wurzelknolle der Georgine, Dahlia variabilis. Alkoholpräparat. Vgr. 180. Original.

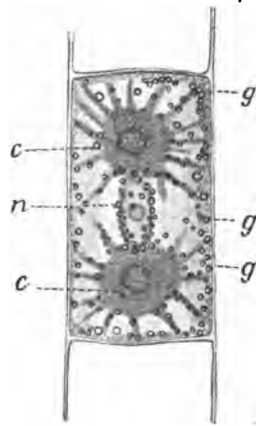


Fig. 29. Gerbstoffbläschen *g* in der Zelle von Zygnema in Form zahlreicher Kügelchen zerstreut. *c* sternartiger Chromatophor, *n* Kern. Vgr. 350. Original.

faltigkeit der Flora. Es ist dies gleichzeitig ein schöner Beweis dafür, wie die Natur mit den einfachsten Mitteln die größten Wirkungen hervorruft und wie sie gewöhnlich nur mit Anthokyan und Chromatophoren oft ganz verblüffende Effekte erzielt.

Es hat sich allmählich herausgestellt, daß es nicht nur ein einziges Anthokyan, sondern eine ganze Gruppe von nahverwandten Anthokyanen gibt, die sich als stickstoffreie Glykoside entpuppten. Sie enthalten an Zucker gekoppelte Farbstoffkomponenten, die wahrscheinlich den Flavonen verwandte Hydroxyl-

verbindungen sind und als Zyanidine bezeichnet werden. Der Farbstoff der Kornblume enthält das Zyanidin $C_{15}H_{10}O_6$ und der Rittersporn das Delphinidin $C_{15}H_{10}O_7$. Die roten Anthokyane der Blüten sind an Säuren, die blauen an Alkalien gebunden und die violetten stellen die freien Farbsäuren dar.

Das Anthokyan spielt als Lockmittel für Insekten, als Wärmespeicher und vielleicht noch in anderer Art eine Rolle.

Gerbstoffe nannte man früher Stoffe, die mit Eisensalzen blaue oder grüne Verbindungen geben und zum Gerben der tierischen Haut dienen. Nach und nach wurde es Sitte, alle jene Körper, die sich zum Eisen in der erwähnten Weise verhielten, als Gerbstoffe zu bezeichnen, wodurch gar nicht verwandte Körper in eine Gruppe vereinigt wurden. Gerbstoffe in dem ursprünglichen Sinne sind im Pflanzenreiche von den niedrigsten Pflanzen aufwärts bis zu den höchsten weit verbreitet. Sie treten im Zellsaft entweder in Form glänzender Bläschen (Zygnema) (Fig. 29), von Vakuolen, Tröpfchen, amorphen Massen oder auch in der Zellhaut auf. Der Gerbstoff kann entweder ganze Gewebe (Rinde, Holz) oder nur einzelne Zellen (Sedum, Echeveria) erfüllen. Als Gerbematerialien dienen wegen ihres hohen Gerbstoffgehaltes Rinden (Fichte, Eiche), Hölzer, Blätter, Früchte und Gallen.

Von anderen im Zellsaft vorkommenden Stoffen seien noch genannt, Hesperidin, Asparagin, Tyrosin, Schleim, Alkaloide und Kautschuk.

5. Die Zellhaut

bildet keinen stets vorkommenden Bestandteil der Pflanzenzellen, doch haben die meisten eine Haut. Wie sie bei der Teilung des Kerns und der Zelle entsteht, wurde bereits auf S. 14 erwähnt.

Verdickungen. Ursprünglich ist die Zellhaut dünn, nach und nach kann sie aber verdickt werden und zwar zuweilen, wie bei den Stein- oder Sklerenchymzellen und bei Bastzellen so stark, daß von dem Lumen oder Hohlraum der Zelle nur mehr wenig übrig bleibt (Fig. 30 und 76). Wenn die Wandverdickung vom Mittelpunkte der Zelle weg nach außen vorschreitet, so spricht man von *zentrifugalen*, wenn sie sich nach innen ausbilden, von *zentripetalen* Verdickungen.

Zentrifugale finden wir meist an Zellen, die an die Luft angrenzen oder sich frei entwickeln können: an Haaren, Sporen und Pollenkörnern. An den letzteren treten sie in Form von

Höckern, Knötchen, Stacheln oder Netzen auf (Fig. 31) und tragen beim Pollen wesentlich dazu bei, die Zellen aneinander haften zu machen, so daß sie von den Insekten leichter in größeren Portionen von Blume zu Blume übertragen werden können.

Zentripetale Verdickungen sind viel verbreiteter. Wir begegnen ihnen unter anderem bei den Kollenchymzellen. Diese sind dadurch ausgezeichnet, daß ihre Wände nur lokal verdickt erscheinen. Es können da zwei Fälle unterschieden werden: 1. Entweder die Wände sind nur an den Längskanten, also da, wo drei oder mehrere Zellen zusammenstoßen, stark verdickt, während die übrigen Wandpartien dünn bleiben (Eckenkollenchym) oder 2. die tangentialen Wände sind ihrer ganzen Ausdehnung nach stark verdickt und die radialen dünn (Plattenkollenchym) (Fig. 32).

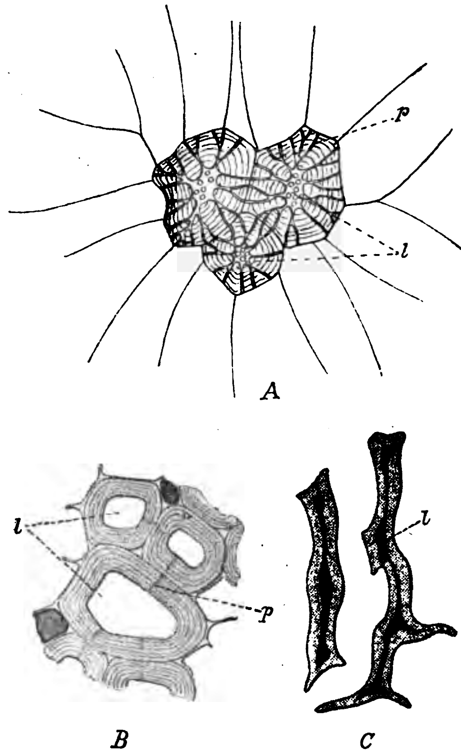


Fig. 30. Steinzellen. *A* aus dem Fruchtfleisch der Birne. Vgr. 260. *B* aus dem Marke von Podocarpus. Vgr. 70. *C* aus dem Teeblatte, Thea chinensis. Vgr. 120. *l* Lumen, *p* Porenkanäle. Original.

Zapfen und Zystolithen gehören gleichfalls zu den zentripetalen Verdickungen. Zäpfchenartige Vorsprünge treffen wir in den Wurzelhaaren oder Rhizoiden mancher Lebermoose (Marchantia) (Fig. 33).

Die Zystolithen sind trauben-, kugel- oder spießförmige Wandverdickungen, die von kohlensaurem Kalk, nicht selten, besonders im Stiel, auch von Kieselsäure durchsetzt und für einige Familien geradezu charakteristisch sind: Moraceen, Urticaceen, und Acanthaceen (Fig. 34).

Poren oder Tüpfel. Bleibt die Wand an einzelnen engbegrenzten, meist runden Stellen unverdickt, so entstehen Poren

oder Tüpfel, die in der Aufsicht als helle Stellen, in der Seitenansicht als kurze und bei sehr verdickten Wänden als lange, schmale Kanäle erscheinen. Die Tüpfel benachbarter Zellen korrespondieren miteinander und es leuchtet ein, daß solche Kanäle, die nur durch die unverdickt gebliebene Membranstelle, die Schließhaut, voneinander getrennt sind, die Stoffwanderung und den Stoffaustausch sehr erleichtern müssen. An den meisten Parenchymzellen und an Steinzellen lassen sich Tüpfel und an den letzteren Porenkanäle leicht beobachten (Fig. 30, 35, 38 und 41).

Hoftüpfel werden Verdickungen genannt, die sich an gewissen Holzzellen und Holzgefäßen vorfinden und die als Poren mit gegen die Schließhaut erweitertem Grunde aufgefaßt werden können. Die Fig. 36 zeigt die Hoftüpfel bei *A* in der radialen Wand einer Holzzelle (Tracheide) eines Nadelholzes. Jeder Hoftüpfel *h* bildet eine kreisförmige Öffnung, umgeben von einem Hof. Im Quer-*B* und Tangentialschnitt *C* erscheint der Hoftüpfel als ein linsenförmiger Raum, der von der Schließhaut *s* durchsetzt wird und über welche sich die rechts und links durchlochte Verdickungsmasse wölbt. Denkt man sich den Hoftüpfel aus zwei übereinandergewölbten, in ihrer Mitte durchlochten Uhrgläsern gebildet und den dadurch geschaffenen Hohlraum durch eine dünne Glasplatte in zwei gleiche Hälften geschieden, so wird man eine gute räumliche Vorstellung von einem Hoftüpfel haben. Die Schließhaut ist am Rande sehr dünn, bildet aber in der Mitte eine dickere Scheibe, den Torus *t*. Der Hoftüpfel wirkt wie eine Art Mikrofilter, durch welches das Wasser eben wegen der Dünnheit der Schließhaut von einer Zelle leicht in die andere treten kann.

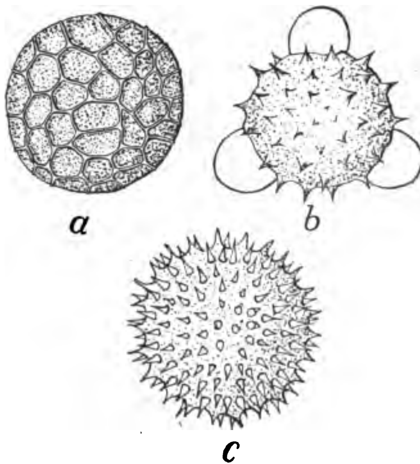
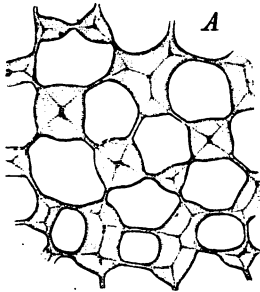


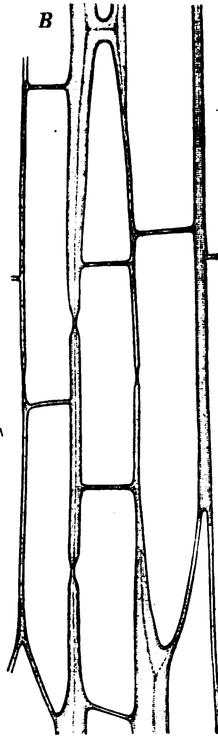
Fig. 31. Zentrifugale Wandverdickungen an Pollenkörnern. *a* netzartige bei Phlox, stachelartige bei *b* Calendula und *c* Althaea rosea. Vgr. 285. Original.

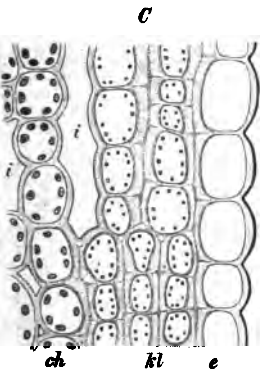
Die Hoftüpfel müssen nicht immer kreisrund, sie können

auch ellipsoidisch, vieleckig oder stark quer ausgezogen sein. Das letztere ist bei den für die Farne so charakteristischen Leitergefäßen der Fall.

Die behöft getüpfelten Holzzellen und Gefäße sind tote Elemente, die hauptsächlich der Wasserleitung dienen. Grenzen sie aneinander, so sind die Hoftüpfel so gestaltet, wie bisher ge-







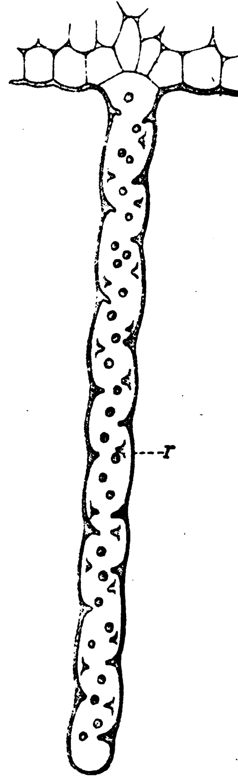


Fig. 32. Kollenchym. *A* Eckenkollenchym des Blattstiels von Salvia sclarea im Querschnitt, *B* dasselbe im Längsschnitt. *C* Astrantia major, Blattstielquerschnitt, *e* Epidermis, *kl* Plattenkollenchym, *ch* Rindenparenchym. Im Kollenchym kleine Chlorophyllkörner, im Rindenparenchym *ch* größere. Frei nach Haberlandt bzw. Rothert.

Fig. 33. Wurzelhaar (Rhizoid) *r* von Marchantia polymorpha mit zäpfchenartigen Verdickungen. Vgr. 335. Original.

schildert wurde. Grenzen sie aber an Parenchymzellen, so wird der Hoftüpfel nur einseitig gegen das Innere des Gefäßes ausgebildet und hat dann keinen Torus.

Die bereits erwähnten Holzgefäße stellen Röhren dar, die aus einer Reihe von übereinander liegenden Zellen dadurch her-

vorgegangen sind, daß die Querwände der Zellen ganz oder teilweise aufgelöst werden. Das Gefäß ist also keine Zelle,

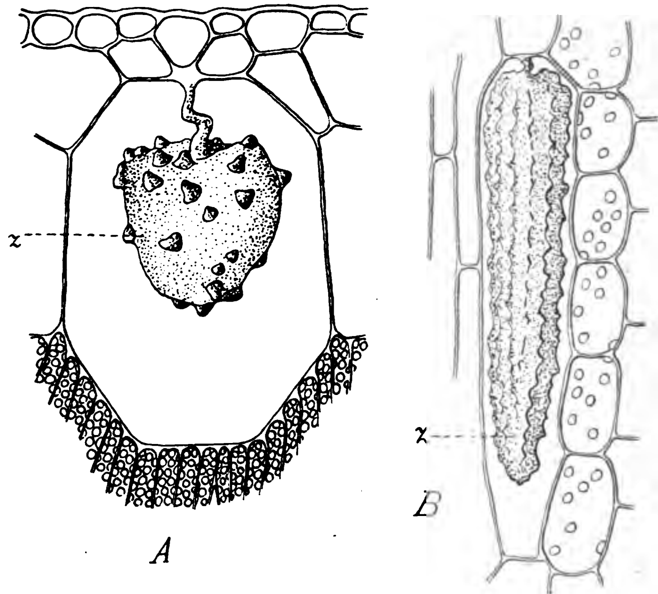


Fig. 34. Zystolithen *z*. *A* in der Blattepidermis von Ficus elastica, *B* im Rindenparenchym von Goldfussia isophylla. Vgr. 285. Original.

sondern eine durch Verschmelzung von Zellen entstandene Röhre. Die Verdickungen ihrer Wand können sehr mannigfaltig sein: ring-, schrauben-, netzförmig oder behöft getüpfelt und dementsprechend werden sie als Ring-, Schrauben-, Netz- oder Tüpfelgefäße bezeichnet.

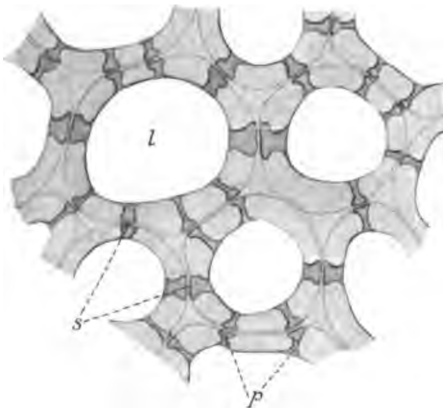


Fig 35. Poren und Porenkanäle *p* in den Zellwänden des Endosperms der Dattel, Phoenix dactylifera. *s* Schließhaut, *l* Lumen. Vgr. 285. Original.

Sind die Hoftüpfel quer ausgezogen, wie das bei den Farnen gewöhnlich der Fall ist, so werden die Ge-

fäße leiterähnlich und daher als Leitergefäße bezeichnet. (Fig. 37).

Struktur. Manche Zellhäute lassen entweder direkt oder indirekt nach Behandlung mit Quellung hervorrufenden Alkalien oder Säuren eine eigenartige Struktur erkennen, die entweder als Schichtung oder Streifung erscheint. Die Schichtung ist nur an dickeren Zellwänden gut zu sehen und verläuft bei allseitig gleichmäßig verdickten Membranen konzentrisch um das Lumen, also parallel zur Oberfläche, und bei einseitig verdickten exzentrisch. Stein- und Bastzellen sind häufig sehr schön geschichtet (Fig. 38).

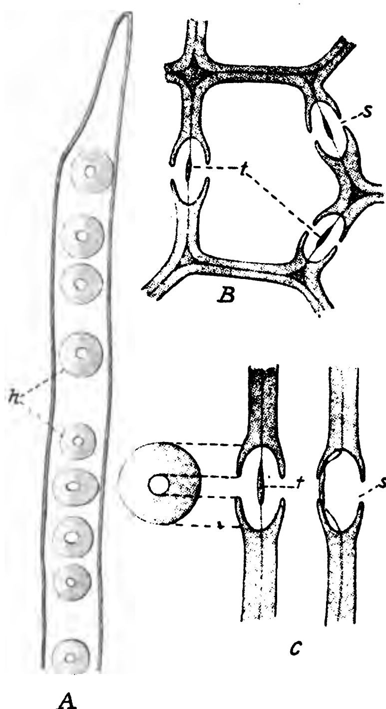


Fig. 36. Hoftüpfel. *A* Stück einer Nadelholztracheide mit Hoftüpfeln *h*. *B* 3 Hoftüpfel im Querschnitt. Der linsenförmige Raum des Hoftüpfels wird durch die knotig (*t*) verdickte Schließhaut *s* in zwei Hälften geteilt. *C* 2 Hoftüpfel im Tangentialschnitt. Rechts die Schließhaut gegen die linke Öffnung ausgebogen. Original.

Seltener ist die Streifung; am häufigsten noch bei Bastzellen (Vinca) und Holzzellen (Fichte), selten bei Parenchymzellen (Georginenknolle). Sie offenbart sich auf Längsschnitten in Streifensystemen, die sich kreuzen und verschiedenen Schichten angehören (Fig. 39). Verursacht wird sowohl die Schichtung als auch die Streifung, ebenso wie die Schichtung der Stärkekörner hauptsächlich durch die Wechsellagerung von wasserreichen und wasserarmen Schichten, die infolgedessen verschiedene Lichtbrechung erhalten und dadurch deutlich werden.

Dementsprechend verschwindet die Schichtung nach Wasserentzug durch Trocknen ganz oder fast ganz; da, wo sie trotzdem erhalten bleibt, dürfte es sich um chemisch-physikalische Unterschiede zwischen den aufeinander folgenden Schichten handeln. Neben der Schichtung

und Streifung läßt sich an den Bastfasern gewisser Apocyneen, z. B. des Oleanders, noch eine Querlamellierung erkennen, die

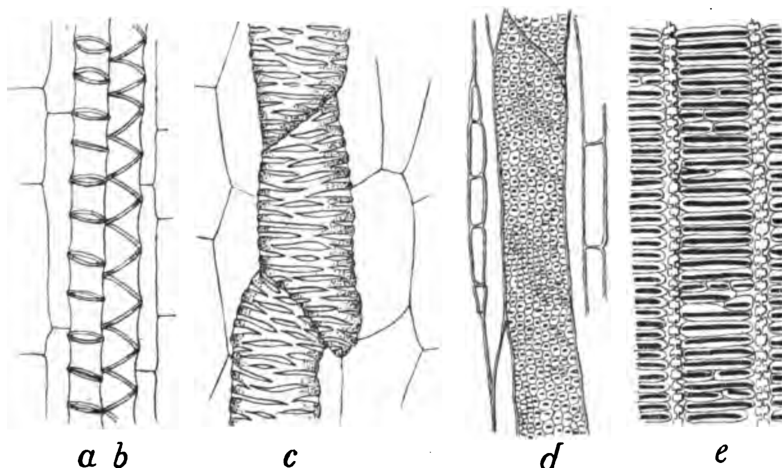


Fig. 37. Holzgefäße (Tracheen). *a* Ringgefäß, *b* Schraubengefäß von Impatiens Balsamina. Vgr. 115. *c* Netzgefäß von der Zuckerrübenwurzel, Beta vulgaris. Vgr. 390. *d* Tüpfelgefäß von der Linde, Tilia sp. Vgr. 180. *e* Leitergefäße von einem Farnkraut, Pteris. Vgr. 60. Original.

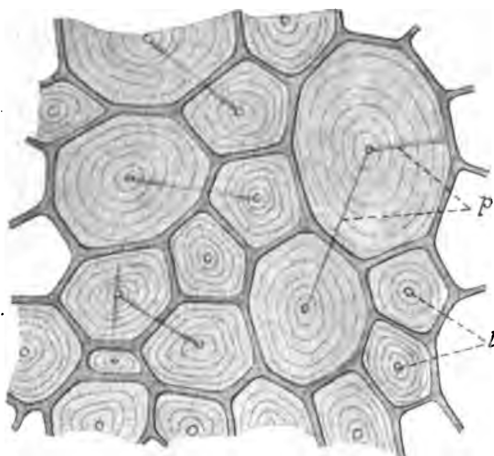


Fig. 38. Schichtung der Bastzellen einer Palme, Querschnitt. *l* Lumen, *p* Porenkanäle. Alle Zellhäute deutlich geschichtet. Vgr. 540. Original.

senkrecht zur Längsachse gerichtet ist und die Schichtung senkrecht durchsetzt.

Die bei der Zellteilung zunächst entstehende Haut ist dünn und anscheinend gleichmäßig. Ältere Wände bestehen aus mindestens drei Lamellen, von denen die mittlere als Mittellamelle oder primäre Membran bezeichnet wird. Sie bildet eine Art Netzwerk, oft mit drei- oder viereckigen Zwickeln *i* zwischen den Zellen. Man hat sie daher früher auch Interzellularsubstanz genannt. Der Mittellamelle sind die den beiden benach-

barten Zellen angehörigen sekundären Verdickungsschichten angelagert, von denen sich die das Lumen berührende innerste häufig als tertiäre Membran oder Innenhaut abhebt (Fig. 40). Die Mittellamelle weicht in ihrem chemischen Verhalten von den Verdickungsschichten ab und besteht aus Pektin, vielleicht aus pektinsaurem Kalk. Wenn Zellen, die früher verwachsen waren, aus dem Verbande gehen oder durch künstliche Mittel voneinander getrennt werden (S. 2), so beruht dies auf der Auflösung der Mittellamelle.

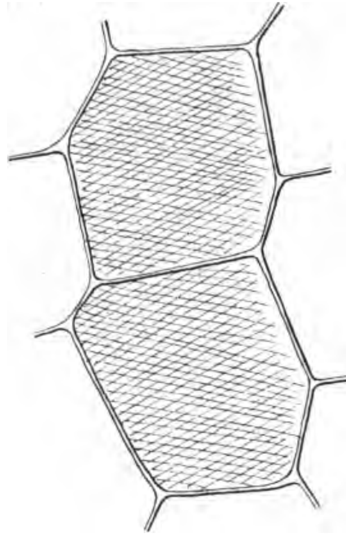


Fig. 39. Streitung an zwei Parenchymzellen der Georginenknolle, Dahlia variabilis. Vgr. 180. Original.

Plasmodesmen. Bisher haben wir stillschweigend angenommen, daß die Protoplasmen benachbarter Zellen durch die Wand voneinander vollständig getrennt sind. Man hatte sich früher die Wände und auch die Schließhäute der Poren geschlossen gedacht. In Wirklichkeit ist dem aber nicht so, denn es läßt sich an passenden Objekten zeigen, daß die Plasmen durch ungemein dünne Plasmafäden oder Plasmodesmen durch die Zellhaut hindurch in direkter Verbindung stehen. Diese hochbedeutsame Entdeckung hat der österreichische Botaniker Tangl gemacht. Als er die Zellen des Nährgewebes der Samen von Strychnos nux vomica einige Zeit mit Jodtinktur behandelte, konnte er die Plasmodesmen deutlich sichtbar machen (Fig. 41 *B*). Später wurden sie in verschiedenen Palmen- und Grassamen festgestellt (Fig. 41 *B*, *C*, *D*) und heute wissen wir, daß die Plasmodesmen eine fast allgemein verbreitete Erscheinung darstellen. Die Plasmodesmen durchziehen die feinen Schließhäute

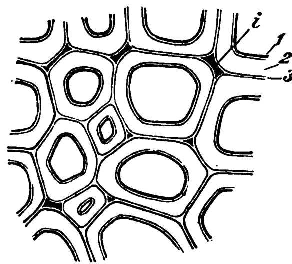


Fig 40. Querschnitt durch das Stammholz der Kiefer, Pinus silvestris. 1 tertiäre, 2 sekundäre, 3 primäre Membran oder Mittellamelle, *i* ein Zwickel der Mittellamelle oder Interzellularsubstanz. Vgr. 400. Nach Rothert.

der Tüpfel, sie können aber auch andere Stellen der Zellhaut durchsetzen.

Eine höhere Pflanze hat also nicht, wie man früher allgemein

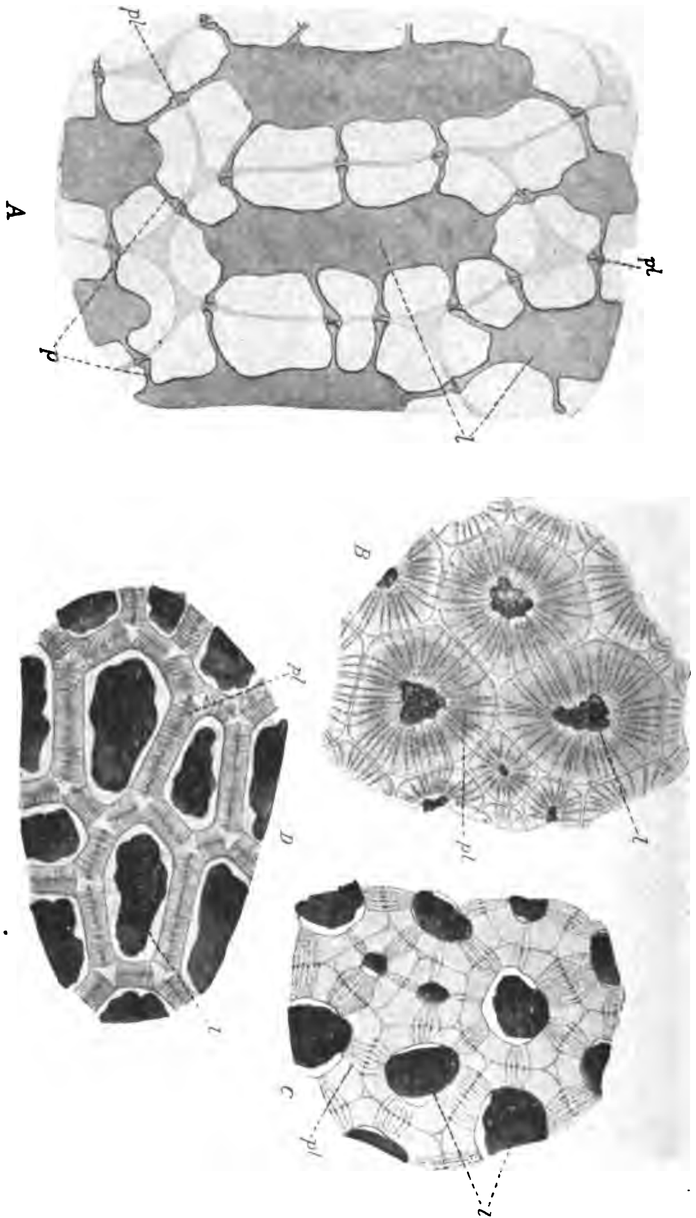


Fig. 41. Plasmodesmen. *A* Stück des Endosperms von Phytelephas macrocarpa. *B* Endosperm von Strychnos nux vomica. Vgr. 285. *C* Endosperm von Chamaerops excelsa. Vgr. 460. *D* Aleuronschicht vom Mais, Zea mais. Vgr. 285. *l* Lumen, *p* Porenkanäle, *pl* Plasmodesmen. Die Figuren 41 *B*, C und *D* nach Dauerpräparaten von Pfeiffer von Wellheim. Original.

gedacht hat, Millionen von Protoplasten, die voneinander durch die Zellhäute vollständig getrennt sind, sondern höchstwahrscheinlich einen einzigen zusammenhängenden, wenn auch vielfach durch siebartig durchlochte Zellwände gekammerten Protoplasmakörper.

Man wird wohl kaum mit der Ansicht fehlgehen, daß die Plasmodesmen, abgesehen davon, daß sie zur Stoffwanderung beitragen, vornehmlich der Reizleitung dienen. Die Pflanze verfügt ja über keine Muskeln und Nerven. Das Reizempfangende und Reizleitende ist hier das Protoplasma und viele Tatsachen sprechen dafür, daß die Plasmodesmen bei der Leitung der aufgenommenen Reize eine wichtige Rolle spielen, ähnlich wie die Nerven beim Tiere. —

Das **Wachstum** der Zellhaut vollzieht sich vom Plasma aus teils durch Auflagerung oder Apposition, teils durch Intussuszeption oder Zwischenlagerung. Das Dickenwachstum kommt hauptsächlich durch Auflagerung, das Flächenwachstum vornehmlich durch Zwischenlagerung neuer Teilchen zwischen die schon vorhandenen zustande.

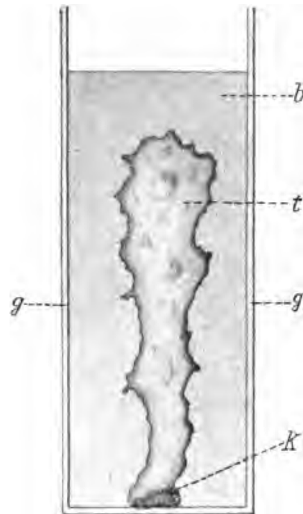


Fig. 42. Traubesche oder künstliche Zelle. *g* Glasgefäß, *b* gelbes Blutlaugensalz, *K* Kristall von Kupferchlorid, *t* Zelle. Natürl. Größe. Original.

Vom Wachstum durch Intussuszeption kann man sich an der Hand der Traubeschen oder künstlichen Zelle eine gute Vorstellung machen. Eine solche anorganische Zelle erhält man, wenn man einen Kristall von Kupferchlorid oder essigsaurem Kupfer in eine mit 4proz. Lösung von gelbem Blutlaugensalz (Ferrozyankalium) gefüllte Proberöhre wirft. Der Kristall umgibt sich rasch mit einer braunen Niederschlagshaut von Ferrozyankupfer, die in dem Maße, als der Kristall sich löst, so rasch wächst, daß das sackartige Gebilde in wenigen Minuten eine Länge von mehreren cm erreichen kann (Fig. 42). Die in dem Sack eingeschlossene Lösung des Kupfersalzes zieht das Wasser der Blutlaugensalzlösung in den Sack osmotisch hinein, das Kupfersalz kann aber, da die Ferrozyankupferhaut nur halbdurchlässig ist, nicht heraus.

Daher entsteht im Innern der Zelle ein großer osmotischer Druck, der die Niederschlagsmembran gewaltig spannt. Dabei werden die kleinsten Teilchen der Membran so weit voneinander entfernt, daß sich in die entstehenden Lücken neu entstehende Teilchen des Ferrozyankupfers einschieben — mit anderen Worten, der Sack oder die Zelle wächst durch Zwischenlagerung in die Fläche, ähnlich wie die pflanzliche Zellhaut.

Das Flächenwachstum kann an allen Teilen der Wand erfolgen oder nur lokal. Nur an der Spitze wachsen Pollenschläuche, Pilzhyphen und Wurzelhaare, sie zeigen sog. Spitzenwachstum. Manche Algenzellen wachsen interkalar, d. h. in einer Zwischenzone.

Während des Flächenwachstums und nachher setzt auch das Dickenwachstum ein und kann dann bei Bast- und Steinzellen so ausgiebig werden, daß das Lumen der Zelle nur mehr punktförmig erscheint. Bei der Bildung der Haut handelt es sich entweder um einen Ausscheidungs- oder um einen Umwandlungsprozeß des Plasmas in Zellulose- oder Hautsubstanz.

Chemie. Die vegetabilische Zellhaut besteht aus verbrennlichen (organischen) und aus unverbrennlichen (anorganischen) Stoffen. Unter den organischen nimmt wohl die Zellulose, ein der Stärke verwandtes Kohlehydrat von der Formel $C_6H_{10}O_5$, die erste Stelle ein. Sie nimmt mit Jod und Schwefelsäure eine tiefblaue und mit Chlorzinkjod eine violette Färbung an, ist in Kupferoxydammoniak löslich und kann daraus sogar kristallisiert gewonnen werden. Neben dieser echten Zellulose, die hauptsächlich zur mechanischen Festigung dient, gibt es noch andere, die Hemizellulosen, die sich viel leichter hydrolysieren lassen und nicht bloß Glukose, sondern noch verschiedene andere Zuckerarten liefern. Sie finden sich hauptsächlich in Pflanzensamen, Fruchtschalen, Holz und Rinde und dienen als Reservestoffe.

Die meisten Pilzzellhäute enthalten an Stelle der Zellulose Chitin, ein stickstoffhaltiges Glykosid, das im Tierreich bei dem Aufbau des Skelettes der Insekten und Krebse eine große Rolle spielt.

Verholzung. Viele Zellhäute geben, obwohl sie Zellulose enthalten, die gewöhnlichen Zellulosereaktionen nicht, färben sich hingegen mit Phlorogluzin und Salzsäure rotviolett und mit Anilinsulfat dottergelb. Man nennt solche Häute verholzt. Alle Zellwände, die dem Holz angehören, ferner viele Mark-, Stein- und

Bastzellen sind verholzt. Man bezeichnet den Körper, der die erwähnten Farbenreaktionen gibt, als Lignin. Er wird als ein Gemisch verschiedener Stoffe (aromatische Aldehyde, Abkömmlinge des Vanillins, Koniferins usw.) gedeutet. Die biologische Bedeutung des Lignins ist mit Sicherheit nicht bekannt. Nach Entfernung des Lignins durch Kalilauge oder Schulzesche Mischung gibt die Zellhaut glatt die Zellulosereaktion.

Verkorkung. Der gewöhnliche Flaschenkork stammt von der Rinde der im Mediterrangebiet einheimischen Korkeiche,

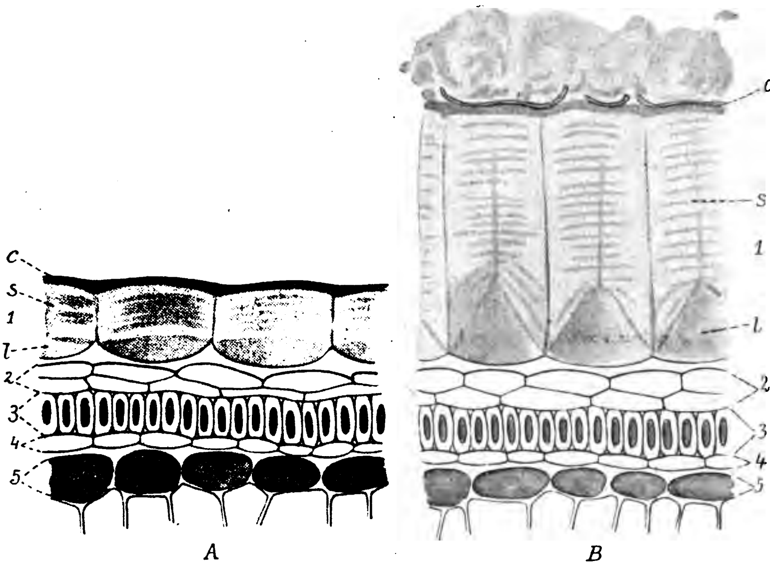


Fig. 43. Samenschale vom Lein, Linum usitatissimum im Querschnitt. Vgr. 460. *A* in Kanadabalsam. 1 Epidermis, die Lumina *l* etwas dunkler, darüber die verschleimenden Membranschichten *s*, bedeckt von der Kutikula *c*. Unter der Epidermis folgen der Reihe nach zwei Schichten dünnwandiger Zellen (2) dann eine palisadenartige Sklerenchymschicht (3), eine Lage dünnwandiger tangential gepreßter Zellen (4) und endlich eine mit braunem Inhalt erfüllte Schicht (5). *B.* Dasselbe Präparat im Wasser. Die Wandschichten *s* hochgradig zu Schleim aufgequollen. Original.

Quercus suber. Er besteht aus Korkzellen. Die Zellwand einer Korkzelle zeigt drei Schichten, von denen die äußere aus verholzter Zellulose, die innerste aus reiner Zellulose und die dazwischen liegende aus Suberin, d. h. aus verschiedenen Fettsäuren, besteht. Solche Membranen heißen verkorkt. Wird ein Schnitt durch Kork mit konzentrierter Kalilauge zum Sieden er-

hitzt, so tritt aus der Suberinschicht eine gekörnelte oder gestrichelte Masse, die sich in Ballen formt und nichts anderes als die Seife der das Suberin zusammensetzenden Fettsäuren ist. Mit Hilfe dieser Reaktion ist die Verkorkung leicht zu erkennen.

Die Natur bedient sich verkorkter Wände, um den Durchtritt von Wasser, Luft und gewisser Sekrete zu erschweren und Wundstellen nach außen abzuschließen (vgl. S. 61).

Verschleimung. Zahlreiche Membranen haben die Eigentümlichkeit, mit Wasser aufzuquellen und Schleim oder Gummi zu liefern. Man versteht darunter Kohlehydrate, die im Wasser mehr oder minder quellen, eine Gallerte bilden oder sich lösen. Wird ein Leinsame in einen Tropfen Wasser gelegt, so quellen die an der Oberfläche liegenden Zellhäute auf und umgeben sich mit einer dicken Schleimschicht (Fig. 43), welche das Wasser mit großer Kraft zurückhält, den Samen vor rascher Austrocknung bewahrt und ihn am Boden festklebt.



Fig. 44. Kieselskelett der Oberhaut des Blattes vom Adlerfarn, Pteris aquilina. Vgr. 180. Original.

Die Samen der Quitte, gewisser Wegericharten (Flohsamen), der Hirtentasche und zahlreicher anderer Cruciferen besitzen gleichfalls verschleimende Zellhäute in der Samenschale.

Bei der Gummibildung der Bäume, z. B. des Kirsch-, des Mandel-, des Pfirsich-, des Akazienbaumes und gewisser Tragantarten (Astragalus) entwickeln diese ihr durch die Rinde hervortretendes Gummi zum Teil aus der Membran, zum Teil aus dem Zellinhalt. Das arabische Gummi stammt von Akaziaarten Afrikas und der Tragant von strauchartigen Astragalusarten Griechenlands und Vorderasiens.

Anorganische Verbindungen treten stets in der Zellhaut auf: Kieselsäure ist in manchen Membranen in so großer Menge vorhanden, daß die betreffenden Zellen nach der Verbrennung ihre Häute genau in ihrer Form und Struktur als sogenannte „Kieselskelette“ zurücklassen (Fig. 44). Die Kieselalgen, die Schachtelhalme, die Gräser und andere Pflanzen gehören hierher. Die verkieselte Zellhaut läßt nach dem Veraschen oft so außer-

ordentlich feine Strukturen erkennen, daß man sie nur mit guten Mikroskopen scharf zu sehen vermag. Daher gehören die veraschten Kieselpanzer der Diatomeen zu den gebräuchlichsten Prüfungsobjekten zur Beurteilung der Güte eines Mikroskops.

Die Kieselsäure aber kommt nicht bloß auf und in der Zellhaut vor, sondern kann auch im Zellinhalt in fester Form auftreten. In den Familien der Palmen, Orchideen, vieler Scitamineen und bei Trichomanesarten finden sich in Begleitung der Baststränge kleine parenchymatische Zellen mit einem Kieselkörper vor, der häufig die Form einer warzigen Kugel, Scheibe oder

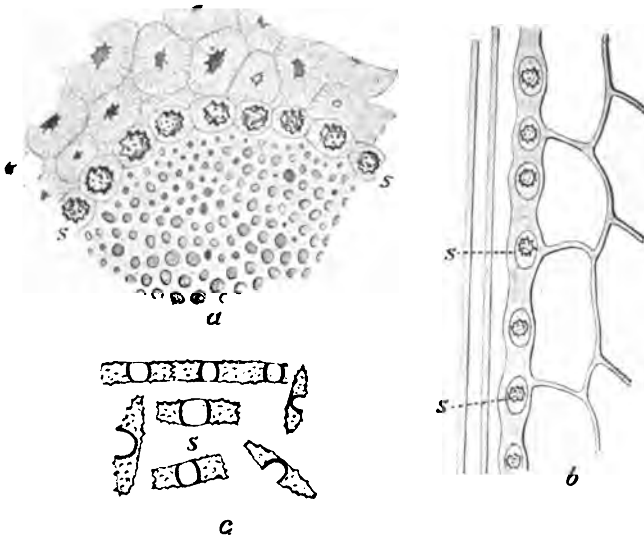


Fig. 45. Stegmata oder Deckzellen *s*. a) Stück eines Querschliffs vom Endokarp der Cocos nucifera. *s* Stegmata mit Kieselkörpern, im Bogen die Bastzellen einhüllend. Vgr. 300. b) Stück eines Längsschnittes durch den Blattstiel von Phoenix sp. *s* Stegmata mit runden Kieselkörpern. Vgr. 400. c) Isolierte Kieselkörper aus den Stegmata von Calathea Seemanii. Vgr. 300. Original.

bikonvexen Linse hat (Fig. 45). Diese Zellen werden als Stegmata oder Deckzellen bezeichnet.

In der inneren Fruchtschale (Endokarp) der Palme Phytelephas kommt eine Schichte von großen prismenförmigen Zellen vor, deren trichterförmiges Lumen von Kieselsäure ganz erfüllt ist (Fig. 46).

Kohlensaurer Kalk. Fast jede Zellwand enthält Kalk in organischer Bindung und es ist wahrscheinlich, daß er an dem

Aufbau der Zellhaut in ähnlicher Weise beteiligt ist wie der Kalk in den Knochen. Abgesehen davon kommt der Kalk insbesondere bei Wasserpflanzen, der Membran aufgelagert und eingelagert, vor. Gewisse Algen, Chara, Corallina, Lithothamnion, ferner die Laichkräuter (Potamogeton), die Wasserpest (Elodea) und andere schlagen auf ihren Membranen so viel kohlensauren Kalk nieder, daß sie dadurch für die Ausfällung des Kalkes im Wasser bedeutungsvoll, ja manche sogar dadurch gesteinsbildend werden (Lithothamnionkalk). Gewisse Steinbrecharten (Saxifraga) scheiden durch bestimmte, am Blattrande befindliche Drüsen und einige Farne (Polypodium) und Plumbagineen durch ihre Blattoberfläche so viel Kalkkarbonat aus, daß sie sich mit weißen Krusten bedecken.

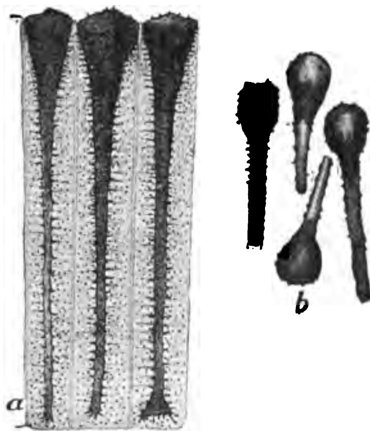


Fig. 46. Kieselzellen aus dem Endokarp der Steinnuß (Phytelephas). Vgr. 105. *a* drei palisadenförmige Kieselzellen; ihr trichterförmiges Lumen samt den Porenkanälen mit Kieselsäure ausgefüllt. Nach einem Präparat in Kanadabalsam. *b* viele solche Zellen verascht, die Kieselmassen bleiben, etwas zusammengesintert, zurück. Original.

Eisen wird in manchen Membranen in beträchtlichen Mengen gespeichert und kann dann mit gelbem Blutlaugensalz und Salzsäure nachgewiesen werden. Bei den Eisenbakterien, gewissen Algen (Closterium), den Eisenflechten und manchen Moosen ist dies der Fall.

Physik. Farbe. Die Zellhaut ist gewöhnlich farblos oder sie hat einen Stich ins Gelbliche. Seltener erscheint sie infolge der Einlagerung organischer Farbstoffe auffallend gefärbt, wie bei verschiedenen technisch verwendeten Farbhölzern, bei gewissen blauviolett gefärbten Wurzeln (Pontederia crassipes, Myriophyllum proserpinacoides) und bei roten Sphagnumarten.

Quellung. Es ist eine Eigentümlichkeit der meisten Bestandteile der Zelle, Wasser zwischen die kleinsten Teilchen mit großer Kraft aufzunehmen, sie dabei auseinanderzudrängen und dadurch an Volumen zuzunehmen, d. h. zu quellen oder sich zu imbibieren. Das Plasma, der Kern, die Stärkekörner, die Chromatophoren und nicht zuletzt die Membranen sind quellungsfähig. Es hängt dies

mit der kolloidalen Natur der Zellbestandteile zusammen, denn durch diese werden sie befähigt, das Wasser, welches für das aktive Leben so bedeutungsvoll ist, an sich zu reißen.

Doppelbrechung. Werden Baumwollhaare, die ja der Hauptsache nach aus Zellhaut bestehen, im Polarisationsmikroskop bei gekreuzten Nikols betrachtet, so leuchten sie auf dunklem Felde auf, weil sie doppelbrechend sind. Querschnitte durch dickwandige Zellen und Hoftüpfel zeigen ebenso wie Stärkekörner ein dunkles Kreuz.

Das spezifische Gewicht dürfte wohl verschieden sein, das der Baumwolle ist 1,7.

6. Die Entstehung von Zellen.

Nun wollen wir die Frage erörtern, wie Zellen entstehen. Es soll hier nicht das naturphilosophische Problem nach der Entstehung des Lebens überhaupt besprochen werden, denn darüber wissen wir nicht Bestimmtes. Hier steht die Wissenschaft vor einem Welträtsel. Wir betrachten vielmehr das Leben als gegeben und fragen: wie bilden sich Zellen aus schon vorhandenen? Dies kann auf verschiedene Weise geschehen. 1. durch Zellteilung, 2. durch Sprossung, 3. durch freie Zellbildung, 4. durch Vielzellbildung und 5. durch Kopulation oder Zellverschmelzung.

1. Die **Zellteilung** wurde bereits gelegentlich der Behandlung der Kernteilung, die sich ja gewöhnlich mit der Zellteilung abspielt, erörtert (S. 14). Sie ist die verbreitetste Art der Zellbildung, denn fast alle Zellen eines Baumes sind durch Teilung entstanden.

2. Die **Sprossung** ist mit der Zellteilung verwandt und läßt sich leicht an der Hefe beobachten. Die Hefe ist ein einzelliger Pilz, der das merkwürdige Vermögen besitzt, den Zucker hauptsächlich in Kohlensäure und Alkohol zu zerlegen und so die alkoholische Gärung hervorzurufen. Wenn die Hefe sich anschickt zu sprossen, so entsteht an irgendeinem Punkte der Oberfläche eine Ausbuchtung, die sich allmählich vergrößert und, nachdem sich der Kern der Mutterzelle geteilt hat und der eine Tochterkern in die Ausbuchtung eingewandert ist, von der Mutterzelle abschnürt. Die junge Sproßzelle kann, bevor sie sich noch abgetrennt hat, schon wieder und noch mehrmals sprossen, so daß auf diese Weise Sproßkolonien zustande kommen (Fig. 47). In gleicher

oder ähnlicher Weise entstehen die Sporen des Pinselschimmels (Penicillium) und die sogenannten Basidiosporen der Hutpilze (Champignon, Herrenpilz).

3. Die **freie Zellbildung** ist für die Schlauchpilze oder Askomyzeten bezeichnend. Auf Pferdemist kommt sehr häufig ein stecknadelkopfgroßer Schlauchpilz, Ascobolus, vor, in dessen Schläuchen die Bildung von Sporen durch freie Zellbildung vor sich geht. Ein Schlauch stellt hier eine lange, röhrenartige Zelle mit einem Kern dar. Beim Eintritt der freien Zellbildung teilt er sich zunächst in zwei, diese teilen sich wieder usw., bis im Schlauche acht Kerne entstanden sind. Jeder von diesen Kernen umgibt sich mit Plasma, dieses mit einer Membran und so entstehen acht neue Zellen oder Sporen. Ebenso vollzieht sich die Sporenbildung in den Schläuchen der Morchel, Morchella esculenta (Fig. 48). Dabei wird nicht das gesamte Plasma der Mutterzelle aufgebraucht, ein Teil bleibt noch übrig und durch diesen Umstand unterscheidet sich die freie Zellbildung wesentlich von der Zellteilung. Es müssen nicht immer acht Sporen auftreten, bei

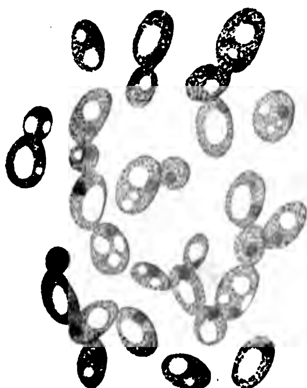


Fig. 47. Sprossung der Hefe. Einzelne Zellen und Sproßkolonien. Der Kern wird erst nach Fixierung und Färbung sichtbar. Original.

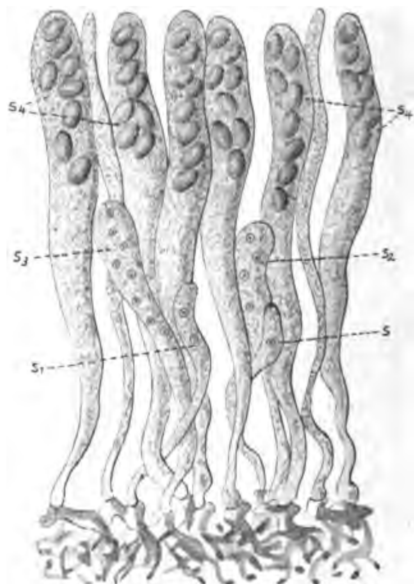


Fig. 48. Freie Zellbildung in den Schläuchen der Morchel, Morchella esculenta. s Schlauch mit einem, s_1 mit 2, s_2 mit 4 und s_3 mit 8 Kernen. s_4 Schläuche mit 8 Sporen und noch übriggebliebenem Plasma. Vgr. 240. Original.

der Trüffel und bei der Hefe, die, abgesehen von der Sprossung, sich auch durch freie Zellbildung vermehren kann, entstehen nur vier. Bei der Bildung von Schwärmsporen vieler Algen und bei der Bildung des Eiapparates höherer Pflanzen kommt auch freie Zellbildung vor.

4. Die **Vielzellbildung** gleicht der freien Zellbildung insofern, als auch hier innerhalb einer Mutterzelle Kernteilungen vor sich gehen, die aber nach einiger Zeit die Bildung von sich gegenseitig berührenden Zellen veranlassen. Ein gutes Beispiel für Vielzellbildung ist die Entstehung des Nährgewebes im Embryo-

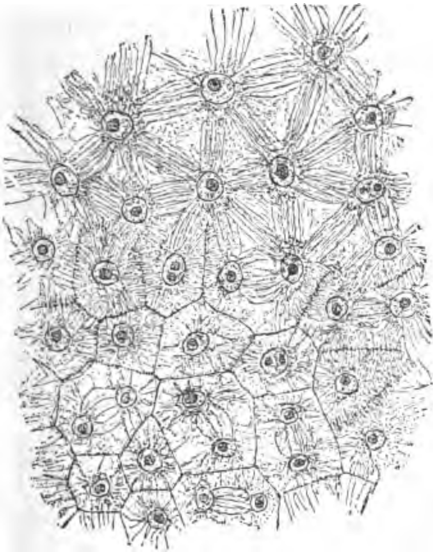


Fig. 49. Vielzellbildung. Teil aus dem Wandbelag des Embryosackes von Reseda odorata. Nach Strasburger.

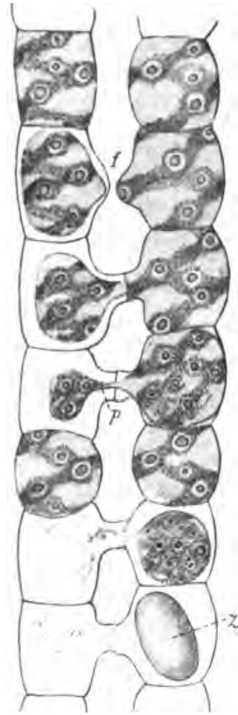


Fig. 50. Kopulation bei Spirogyra. *f* Fortsätze, *p* Auflösung der Querwand, *z* Zygospore. Vgr. 285. Original.

sack der Blütenpflanzen. Dieser stellt eine große Zelle in der Samenanlage dar. Der Zentralkern teilt sich fortgesetzt, bis eine große Zahl von Kernen entstanden ist und der Embryosack eine bedeutende Größe erreicht hat. Nach einiger Zeit umgeben sich die Kerne mit Verbindungsfäden, so daß sie strahlenden Sonnen gleichen (Fig. 49). In den Fäden bilden sich Zellplatten, in diesen

Zellwände und so entsteht im Embryosack durch Vielzellbildung ein reichzelliges Gewebe.

5. Unter **Kopulation** versteht man die Vereinigung zweier mehr oder weniger verschiedener Zellen zu einer neuen Zelle. Während die früher behandelten Zellbildungsarten mit einer Vermehrung der Zellen verbunden sind, tritt bei der Kopulation oder Konjugation eine Verminderung ein. Aus zwei Zellen entsteht eine. Die uns wegen ihrer schraubigen Chlorophyllkörper bereits bekannte Spirogyra ist ein sehr geeignetes Objekt für die Beobachtung der Kopulation. Zwei Fäden, die sich aus tonnenförmigen Zellen aufbauen, liegen nebeneinander. Tritt Kopulation ein, so treiben zwei gegenüberliegende Zellen Fortsätze *f* aufeinander, bis sie sich berühren (Fig. 50). Nach Auflösung der Berührungswand wandert der Protoplast *p* der einen Zelle, wir wollen sie die männliche nennen, in die andere ein. Zellkern und Plasma verschmelzen miteinander, das Verschmelzungsprodukt umgibt sich mit einer derben Zellhaut, und so entsteht eine neue Zelle *z*, die Zygospore oder Zygote. Die freibeweglichen, oft anscheinend ganz gleich aussehenden Geschlechtszellen oder Gameten vieler Algen und Pilze vereinigen sich gleichfalls zu einer neuen Zelle oder Zygote. Moose und Farne entwickeln ganz verschieden aussehende männliche (Spermatozoiden) und weibliche (Eizellen) Geschlechtszellen und der Befruchtungsvorgang dieser Gewächse beruht ja im wesentlichen auf einer Vereinigung dieser beiden Zellen bzw. ihrer Kerne. Dasselbe gilt von der Befruchtung der Phanerogamen, bei welchem Vorgang sich der Eikern mit dem Pollenkern vereinigt.

II. Die Gewebe.

Es gibt tausende Pflanzen, die nur aus einer Zelle bestehen. In einer solchen spielen sich alle Lebenserscheinungen ab. Das Prinzip der Arbeitsteilung erforderte es aber, die einzelnen Leistungen auf verschiedene Zellen zu verteilen. Das ist bei den meisten vielzelligen Gewächsen der Fall. Hier erscheinen zahlreiche Zellen zu einem Ganzen, zu einem Gewebe vereinigt, in dem die Zellen gewöhnlich verschiedenen Aufgaben dienen und in gegenseitige Abhängigkeit treten.

Nach dem Entwicklungszustande können die Gewebe eingeteilt werden in Meristeme oder Bildungsgewebe und in Dauergewebe.

Meristeme. Das Wort kommt von dem griechischen Worte *μερίζω*, ich teile. Diese Gewebe sind nämlich dadurch ausgezeichnet, daß ihre Zellen sich beständig teilen und auf einem jungen, embryonalen Zustande verharren, indem sie sich durch fortgesetzte Teilung immer von neuem verjüngen. Ihre Zellen sind klein, dünnwandig, plasmareich und großkernig. Man unterscheidet Ur- und Folgemeristeme.

Die Urmeristeme leiten sich entweder von der Eizelle oder von Urmeristemen, die Folgemeristeme aber von Dauergeweben ab. Die Urmeristeme haben zumeist ihren Sitz auf den Spitzen der Laubsprosse und der Wurzeln. Entkleidet man z. B. die Sproßspitze der Elodea canadensis aller ihrer Blätter, so gibt sie sich als ein kleiner, mit freiem Auge kaum sichtbarer Kegel, als Vegetationskegel oder Vegetationspunkt, zu erkennen (Fig. 51). Er besteht aus Urmeristem, verjüngt sich nach oben beständig und liefert nach unten Dauergewebe, aus denen sich die Organe der Pflanze, Stamm und Blätter, aufbauen. Hat ein Baum tausende von Knospen und Wurzelspitzen, so hat er auch zum mindesten ebensoviele Vegetationspunkte. Das embryonale Gewebe erscheint also in zahlreichen kleinen Portionen, den Vegetationspunkten, über die ganze Pflanze zerstreut. Von hier geht immer neues Wachstum und die Entwicklung neuer Organe aus, ganz im Gegensatz zu dem entwickelten Tier, dem solche embryonalen Gewebe fehlen. Bei den Vegetationspunkten der Kryptogamen nimmt die Entwicklung des Meristems ihren Ausgangspunkt von einer durch Größe und Form ausgezeichneten Scheitelzelle, bei den Phanerogamen von einer Gruppe von Zellen, die als Initialen bezeichnet werden. Die Form der Scheitelzelle ist verschieden und für gewisse Pflanzen charakteristisch. Bei den Algen hat die Scheitelzelle oft die Form einer Kuppe (Fig. 83), bei Moosen, Farnen und Schachtelhalmen die eines Keiles oder einer dreiseitigen Pyramide (Fig. 52).

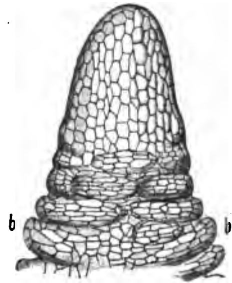


Fig. 51. Vegetationspunkt von Elodea canadensis. Die seitlichen Höcker *b* unten sind Blattanlagen. Vgr. 80. Original.

Die Grundfläche der Pyramide fällt mit der Oberfläche des Vegetationspunktes zusammen. Wenn sich eine Scheitelzelle teilt, so entstehen zwei Zellen, von denen die eine auch weiterhin un-

begrenzt teilungsfähige Scheitelzelle bleibt, die andere aber Segmentzelle wird, sich zwar auch wieder teilen kann, aber verhältnismäßig bald zur Dauerzelle wird. Die Segmente entstehen in gesetzmäßiger Reihenfolge durch Teilungswände, die abwechselnd je einer der seitlichen Pyramidenflächen der Scheitelzelle beiläufig parallel sind (Fig. 52).

Dauergewebe. Die den Vegetationspunkt aufbauenden Meristemzellen gehen in der vom Scheitel abgekehrten Richtung in Dauergewebe über, die sich in besonderer, ihrer Leistung entsprechender, sehr mannigfaltiger Weise ausbilden können. Man kann diese verschiedenen Dauergewebe, wenn man mehr den formalen Gesichtspunkt in den Vordergrund stellt, in Einheiten höherer Ordnung oder Gewebesysteme, und zwar in folgende einteilen: Haut-, Strang- und Grundgewebesystem (vgl. S. 3). Damit soll nicht gesagt sein, daß diese Einteilung eine nach jeder Richtung befriedigende ist, denn tatsächlich sind bei dieser Einteilung oft recht verschiedene Dinge vereint; aber diese von Sachs herrührende Übersicht empfiehlt sich für den Anfänger aus pädagogischen Gründen. Sie ist einfach, klar, verständlich und der Anfänger läßt sich an der Hand derselben leicht in die Gewebelehre einführen.

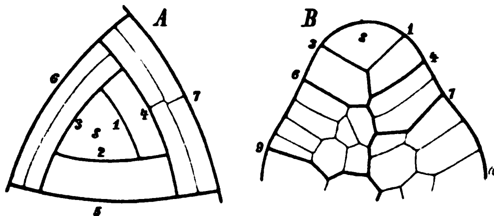


Fig. 52. Dreiseitig-pyramidale Scheitelzelle *s* von Equisetum. *A* in der Aufsicht, *B* im medianen Längsschnitt. Ihre Teilungswände der Reihe nach beziffert und durch stärkere Konturen hervorgehoben. Frei nach Nägeli und Schwendener bzw. Rothert.

Die vom physiologischen Gesichtspunkte ausgehende Einteilung der Gewebe, wie sie von Schwendener begründet, von Haberlandt mit Erfolg ausgestaltet wurde und die sich mit Recht großen Beifalls erfreut, hat zweifellos ihre großen Vorteile und empfiehlt sich für den Vorgeschrittenen in erster Linie. Dem Anfänger wird es aber leichter fallen, sich auf Grund der Sachsschen Einteilung zurechtzufinden und deshalb sei aus den erwähnten Gründen und weil dieses Büchlein für den Anfänger geschrieben ist, an dieser Einteilung festgehalten. Daß dabei die Physiologie der Zellen und Gewebe nicht vernachlässigt werden darf, ist wohl selbstverständlich.

1. Das Hautgewebe.

Das die Oberfläche der höheren Pflanze bildende Gewebe, das Hautgewebe, hat verschiedene Aufgaben zu erfüllen und hat demnach auch einen verschiedenen Bau. Es ist anders gebaut an den Blättern, anders am Stamme und wieder ganz anders an der Wurzel. An den oberirdischen Teilen schützt es meist die Pflanze vor zu starker Wasserabgabe und zu starker Erwärmung und an der Wurzel dient es vornehmlich zur Wasseraufnahme.

Das Hautgewebe ist zunächst als Epidermis oder Oberhaut und später bei ausdauernden Organen als Periderm oder Kork ausgebildet. Daher bezeichnet man die Epidermis als das primäre und das Periderm als das sekundäre Hautgewebe.

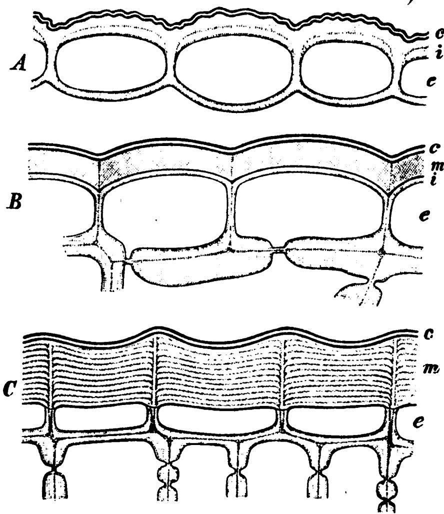


Fig. 53. Epidermis im Querschnitt. *A* vom Blatt der Federnelke (Dianthus plumarius), *B* vom Stamm von Cactus (Cereus) triangularis, *C* vom Stamm von Kleinia neriifolia. Vgr. 330. *c* Kutikula, *m* Mittelschicht, *i* Zelluloseschicht der Epidermisaußenwand; *e* Lumen der Epidermiszellen. Frei nach Mohl bzw. Rothert.

Die **Epidermis** wird von einer gewöhnlich aus einer einzigen Lage von Zellen bestehenden Schicht aufgebaut. Sie umschließt die Blätter und die krautigen Stengel und jungen Wurzeln. Die typische Epidermis des Laubblattes besteht meist aus lückenlos aneinanderschließenden, flachen Zellen von in der Aufsicht verschiedenem zackigem, welligem oder vieleckigem Umriß. An langgestreckten Organen, an Stengeln, linealen Blättern, Wurzeln und über den Blattnerven erscheinen sie langgestreckt. Charakteristisch erscheint auch ihr Bau am Querschnitt des Blattes (Fig. 53). Die Außenwand ist gewöhnlich viel dicker als die gegenüberliegende oder die seitenständige Wand. Zu äußerst liegt ein dünnes, durch eingelagerte Fettsäuren ausgezeichnetes Häutchen, die Kutikula *c*, die die ganze Oberfläche der oberirdischen krautigen Teile be-

deckt. Daran schmiegen sich Membranschichten, die oft auch etwas kutikularisiert sind und eine Art Mittelzone *m* bilden. Daran kann sich noch als innerste Schicht *i* eine Lamelle anschließen, die aus reiner Zellulose besteht.

Wird eine solche Epidermiszellhaut mit Chlorzinkjod behandelt, so färbt sich die Kutikula *c* tiefbraun, die angrenzenden kutikularisierten Schichten *m* bräunlich und die innerste *i* violett. Die Kutikula hemmt infolge ihrer chemischen Zusammensetzung den Wasseraustritt und ist daher besonders bei Pflanzen trockener Standorte stark ausgebildet.

Die Oberhautzellen sind sehr wasserreich, enthalten bei den Blütenpflanzen keine oder nur sehr kleine und blasse Chlorophyllkörner, nicht selten auch Anthokyan und bei den Blüten auch Chromoplasten.

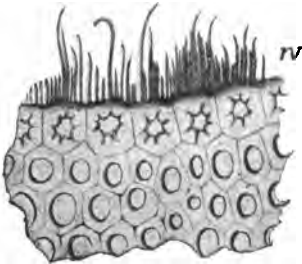


Fig. 54. Wachsstäbchenüberzug vom Schilfrohr, Phragmites communis. Stück eines Querschnittes des Halms knapp beim Knoten. Die Epidermis bedeckt mit Wachsstäbchen *w*. Vgr. 350. Original.

Wachsüberzüge. Viele Pflanzenteile, Früchte, Blätter und Stengel werden von weißem, zartem, leicht wegwischbarem Reif bedeckt, der von den reifen Trauben und den Pflaumen wohl bekannt ist. Auch die zwei weißen Streifen an der Unterseite des Tannenblattes und der weiße Überzug an den jungen Stengeln vom eschenblättrigen Ahorn (Acer) rühren von Wachs her. Unter dem Mikroskop erscheinen die Wachsüberzüge aufgebaut aus Körnchen (Kohl), Stäbchen (Schilfrohr), Häuten (Echeveria) oder Krusten, die auf Myrica-Beeren und den Blättern der Wachspalme, Ceroxylon andicola, eine solche Dicke erreichen, daß sie als Pflanzenwachs gewonnen und zur Kerzenfabrikation benutzt werden.

Die geformten Wachsüberzüge, wie z. B. die des Schilfrohrs, (Fig. 54), leuchten im polarisierten Lichte auf, stellen kristallisierte Ausblühungen aus der Kutikula dar und bestehen aus Glyzeriden, freien Fettsäuren und wachsartigen Körpern. Sie verhindern die Benetzung und hemmen die Wasserverdampfung. Wird ein Blatt vom Schöllkraut (Chelidonium majus) oder ein anderes, nicht benetzbares Blatt unter Wasser getaucht, so erscheint es metallisch glänzend wie ein Silberspiegel. Das Blatt wird infolge des Wachs-

überzuges nicht benetzt, zwischen Blatt und Wasser liegt eine Luftschichte und diese erzeugt, indem sie das Licht gänzlich zurückwirft, den auffallenden Glanz. —

Spaltöffnungen. In den Laubblättern vollziehen sich wichtige Lebensvorgänge: die Transpiration, die Atmung und die Kohlensäureassimilation. Gase müssen aus- und eintreten und die Abgabe von Wasser in Form von Dampf muß je nach dem Wasserbedürfnis geregelt werden. Diesem Zwecke dienen hauptsächlich die Spaltöffnungen.

Eine Spaltöffnung besteht aus zwei, meist halbmond- oder bohnenförmigen Epidermiszellen, den Schließzellen, die zwischen sich einen Luftspalt bilden, an den beiden Enden aber verwachsen sind. Unmittelbar unter der Spalte befindet sich ein großer lufthaltiger Interzellularraum, die Atemhöhle, in welche zahlreiche Interzellulargänge des Grundgewebes münden. So besteht ein direkter Zusammenhang zwischen der Spalte, der Atemhöhle und den übrigen Lufträumen der Pflanze (Fig. 55).

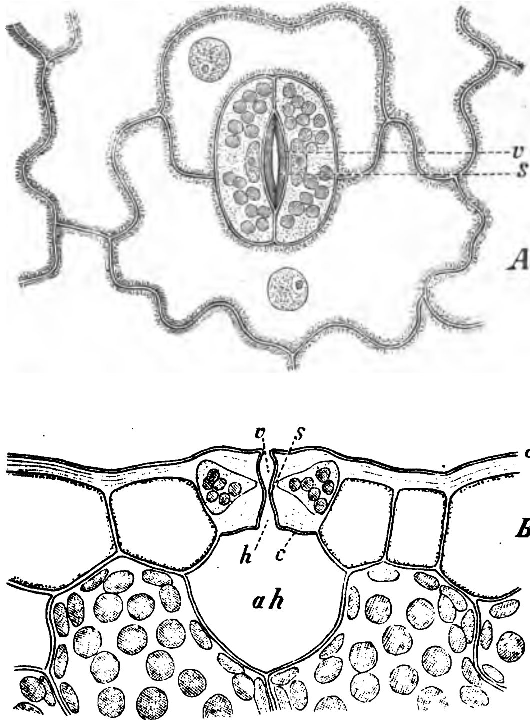


Fig. 55. Spaltöffnung in der Blattepidermis vom Thymian (Thymus serpyllum). *A* in der Aufsicht, *B* im Durchschnitt. *s* Zentralspalte, *v* Vorhof, *h* Hinterhof, *c* Kutikula, *ah* Atemhöhle. In den Schließzellen Chlorophyllkörner. Nach Kny.

Die Schließzellen unterscheiden sich, abgesehen von ihrer Form, von den gewöhnlichen Oberhautzellen durch ihren reichen Chlorophyllgehalt und durch ihren Bau. Sie erscheinen auf einem Querschnitt des Blattes in sehr eigentümlicher Weise verdickt.

Die der Spalte zugewandte Seite, die Bauchseite, ist immer dicker als die Gegenseite oder Rückenseite. Die Verdickung tritt in Form einer vorspringenden oberen und einer unteren Verdickungsleiste hervor, während die Mitte dünn bleibt. Dadurch kommt ober- und unterhalb der Spaltenmitte je eine Erweiterung des Spaltenraums zustande, oben der Vorhof, unten der Hinterhof und zwischen beiden liegt der engste Teil der Spalte, die Zentralspalte. Nimmt der Turgor, d. h. der gesamte Druck des Zellinhalts auf die Wand zu, so tritt eine solche Gestaltänderung der Schließzellen ein, daß sich die Spalte öffnet; nimmt der Turgor ab, so schließt sich die Spalte. Infolge dieser Fähigkeit, sich zu öffnen und zu schließen, werden die Spaltöffnungen zu Regulatoren der Transpiration und des Gasaustausches überhaupt. Im Lichte öffnen sich die Spalten, im Finstern schließen sie sich gewöhnlich. In feuchter Luft sind sie meist geöffnet, in trockener Luft, wenn die Pflanze an Wassermangel leidet, tritt Spaltenverschluß ein, eine sehr zweckmäßige Einrichtung, die im Dienste der Wasserökonomie steht.

Die Schließzellen grenzen entweder an gewöhnliche Epidermiszellen oder an solche, die durch Gestalt und auch meist geringere Größe sich unterscheiden. Diese in ihrem Bau abweichenden, die Schließzellen begrenzenden Zellen werden als Nebenzellen bezeichnet. Sie haben sich als ein ausgezeichnetes systematisches Merkmal erwiesen, da ihr Bau und ihre Anordnung für ganze Gattungen und Familien charakteristisch sein kann.

Die Spaltöffnungen treten gewöhnlich an der Unterseite des Laubblattes auf, seltener an der Oberseite, z. B. bei Wasserpflanzen mit an der Oberfläche des Wassers schwimmenden Blättern (Seerosen), oder ober- und unterseits (Kohl). Die Anzahl ist eine erstaunlich große; 100—300 auf einen mm^2 kommen häufig vor, man hat pro mm^2 Blattfläche gezählt bei

	an der Oberseite	an der Unterseite
Acer platanoides . .	0	550
Ficus elastica . . .	0	145
Syringa vulgaris . .	0	330
Brassica oleracea . .	219	301
Nymphaea alba . . .	330	0

Die Spaltöffnungen stehen meistens über die Blattfläche mehr oder weniger gleichmäßig zerstreut, seltener in Reihen (Gräser,

Nadelhölzer) oder noch seltener in Inseln (Saxifraga sarmentosa); gewöhnlich in gleicher Höhe wie die andern Epidermiszellen, dagegen häufig erhöht bei Pflanzen in sehr feuchter oder vertieft bei Gewächsen an trockenen Standorten. Erhöhte Spaltöffnungen sind den Luftströmen stark ausgesetzt, sie werden daher Wasserdampf in größerer Menge abgeben, im Gegensatz zu den vertieften, die dem Winde mehr entrückt sind.

Wasserspalten oder Hydathoden. Neben den bisher beobachteten, dem Gasaustausch dienenden Spaltöffnungen, den Luftspalten, gibt es noch eine andere Art von Spaltöffnungen,

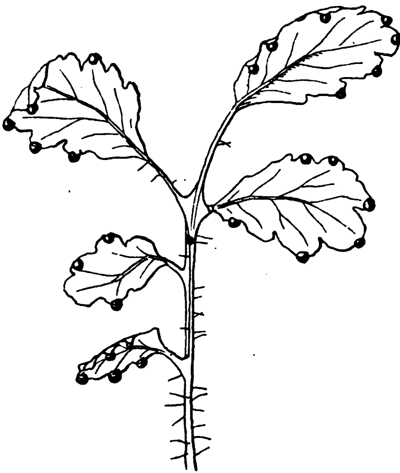


Fig. 56. Guttation. Tropfenausscheidung an den Blattzähnen des Schöllkrauts, Chelidonium majus. Um ⅓ verkleinert. Original.

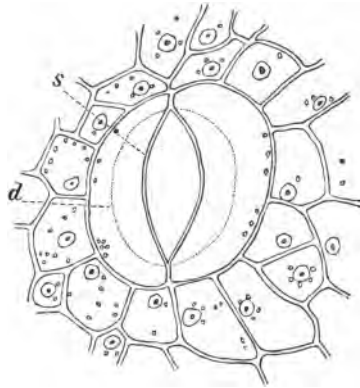


Fig. 57. Wasserspalte vom Blattran der Kapuzinerkresse, Tropaeoum majus. Die beiden Schließzellen mit der Spalte *s*, umgeben von Epidermiszellen. *d* Kontur des Vorhofs. Nach Strasburger.

die Wasserspalten. Sie dienen dem Austritt von flüssigem Wasser. Frühmorgens, wenn die Luft noch mit Wasserdampf ziemlich gesättigt ist, sieht man an den Blattspitzen oder den Blattzähnen zahlreicher krautiger Pflanzen Tröpfchen hängen (Fig. 56). Das sind keine Tautröpfchen, sondern von der Pflanze durch den Wurzeldruck ausgepreßte und aus den Wasserspalten hervorkommende Tröpfchen. Ausgezeichnet läßt sich diese als „Guttation" bezeichnete Erscheinung leicht an ganz jungen Graskeimlingen, die man mit einem Trinkglas bedeckt, beobachten, ferner an den

Blättern der indianischen Kapuzinerkresse (Tropaeolum), des Schöllkrauts, der Fuchsie, des Paradiesapfels und an vielen anderen krautigen Gewächsen. Von den gewöhnlichen Spaltöffnungen unterscheiden sich die Wasserspalten nur dadurch, daß diese zumeist größer sind, und daß sie die Fähigkeit, sich zu öffnen und zu schließen, nicht besitzen (Fig. 57). Sie treten gewöhnlich an den Blattzähnen, den Blattspitzen oder seltener an der ganzen Oberfläche der Blattoberseite entweder einzeln oder in Gruppen (Boehmeria) auf. Unterhalb der Wasserspalte erscheint häufig ein kleinzelliges, reichlich wasserführendes, farbloses Gewebe eingeschoben, in das das Ende eines wasserleitenden Bündels mündet. Diese kleinzellige Gewebeinsel, das Epithem, vermittelt die Ausscheidung des Wassers, indem es den Durchtritt wahrscheinlich erleichtert (Fig. 58). In manchen Fällen können auch Haare, Epidermiszellen oder Einrichtungen besonderer Art als Hydathoden dienen.

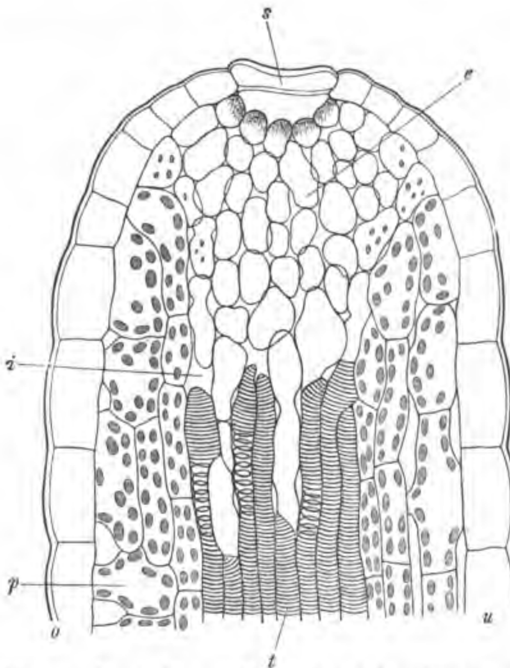


Fig. 58. Epithem-Hydathode eines Blattzahns von Primula sinensis im Längsschnitt. *t* Tracheiden des verbreiterten Leitstranges, *e* Epithemzellen, *s* eine Schließzelle der längs durchschnittenen Wasserspalte, *i* Interzellularen, *o* obere, *u* untere Blattepidermis, *p* Chlorophyllparenchym. Nach Haberlandt.

Warum scheiden die Pflanzen Wasser aus? Während der Nacht ist die Transpiration herabgesetzt, die Blätter würden, da die im Wasser gelösten Mineralsalze nicht zugeleitet werden, an Nährsalzen Mangel leiden. Diesem wird nun durch den Wasserstrom abgeholfen, der durch die Wurzel emporgepreßt wird und schließlich durch die Wasserspalten seinen Ausgang findet. Vielleicht bedient sich die Pflanze der Guttation auch

zu dem Zwecke, sich gewisser überflüssiger oder gar schädlicher Stoffe zu entledigen.

Haare oder Trichome werden Zellen oder Zellkomplexe genannt, die sich bloß von der Epidermis ableiten und über sie emporragen. Sie können über die ganze Oberfläche der krautigen Teile der Pflanze zerstreut sein, entstehen also, im Gegensatz zu den Blüten und Knospen, nicht an bestimmten Stellen. Die Mannigfaltigkeit ihrer Form und Ausbildung ist eine sehr große. Es können daher nur einige wenige Beispiele vorgeführt werden, die auch gleichzeitig zeigen sollen, welchen verschiedenen Aufgaben die Haare dienen können.

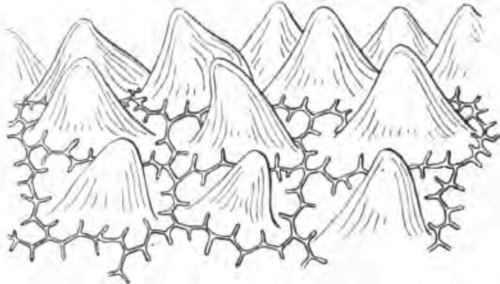


Fig. 59. Papillen der Blütenepidermis der Primula obconica. Vgr. 285. Original.

Manche Blumenblätter (Primel, Stiefmütterchen) fühlen sich wie Samt an. Dies wird verursacht durch kurze, kegelförmige Haare, sogenannte Papillen, die dicht beieinander stehen wie die Fäden in einem Samt und zur Oberflächenvergrößerung wesentlich beitragen (Fig. 59). Von großer Wichtigkeit sind die gleichfalls einzelligen Haare, die aus der Epidermis der Wurzeln hervorgehen, die Wurzelhaare (Fig. 60). Sie umgeben die junge Wurzel in einiger Entfernung von der Spitze oft in so dichter Lagerung, daß sie die Oberfläche der Wurzel wie mit einem Pelze einhüllen. Sie schmiegen sich den Bodenteilchen innigst an und verkleben oft mit ihnen, so daß die junge Wurzel, dem Boden vorsichtig entnommen, wie von einer Erdhose umgeben erscheint. Die Wurzelhaare dienen der Befestigung und der

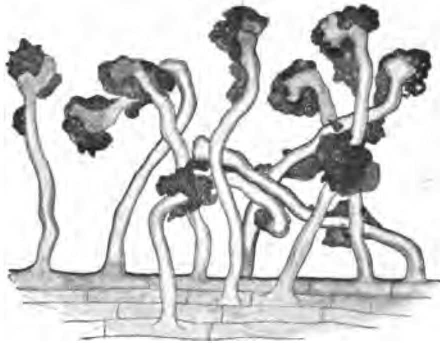


Fig. 60. Wurzelhaare der Kresse Lepidium sativum, mit Bodenteilchen verklebt. Vgr. 250. Original.

Wasseraufnahme und spielen bei der Ernährung eine wichtige Rolle.

Die Baumwollhaare sind einzellige Haare, die den Samen der Baumwollstaude (Gossypium) wie mit einem Wollfilz einhüllen und seiner Verbreitung dienen. Sie sind tot, größtenteils mit Luft gefüllt und daher weiß.

Die Brennhaare, wie wir sie bei unseren Nesselarten (Urtica) an den oberirdischen Teilen vorfinden, haben bekanntlich die unangenehme Eigenschaft, bei Berührung mit der Hand einen brennenden Schmerz, das Nesseln, hervorzurufen. Die tropischen Laporteaarten können sogar durch ihre Brennhaare gefährliche Wunden veranlassen.

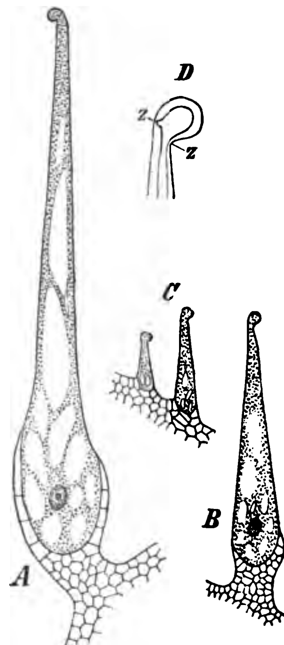


Fig. 61. Brennhaar der Brennessel, Urtica dioica. *A* erwachsen, *B* jung, *C* sehr junge Stadien. *D* stärker vergrößert: die knopfförmige Spitze mit der dünnwandigen Stelle *zz*, in der das Abbrechen erfolgt. *A* bis *C* nach Kny, *D* nach Haberlandt.

Die Fig. 61 zeigt den Bau des Brennhaares von der Brennnessel, Urtica dioica. Das eigentliche Haar besteht aus einer unten zwiebelartig erweiterten Zelle, die sich nach oben in einen schmalen Kegel verjüngt, dessen Spitze in ein kleines, seitlich gebogenes Köpfchen mit einer darunter befindlichen dünnwandigen Stelle *zz* mündet. Unten wird das Haar von einem Wall von Zellen umfaßt, der sich auf einen Gewebesockel stützt, und daher wie gestielt aussieht. Die Brennhaare von Urtica, Laportea und Loasa verdanken ihre große Sprödigkeit und Zerbrechlichkeit einer starken Verkieselung oder Verkalkung oder beiden zugleich. Sie werden dadurch gewissermaßen zu Glaskapillaren und da die in die Wunde eindringende Bruchstelle aus dem Haare ein unbekanntes Gift entläßt, erscheinen sie ihrer Aufgabe, als Schutzwaffe zu dienen, trefflich angepaßt.

Die Drüsenhaare sondern verschiedene Sekrete, Gummi, Harz, ätherische Öle und andere Stoffe ab. Die Gattungen Salvia, Sonchus, Circaea u. a. sind reich an Drüsenhaaren. Besonderes

Interesse beanspruchen die Drüsenhaare mehrerer Primelarten: Primula obconica, P. sinensis u. a. (Fig. 62). Diese Trichome bestehen aus einem mehrzelligen Stiel und einer als Köpfchen ausgebildeten Endzelle. Zwischen der Kutikula und der übrigen Zellhaut des Köpfchens sammelt sich ein Sekret, das die Kutikula mehr und mehr abhebt und schließlich zum Reißen bringt, so daß es sich über das Haar ergießt. Die Absonderung enthält ein leicht kristallisierendes Gift, das, auf die menschliche Haut gebracht, schmerzhafte Entzündungen erzeugt. —

Die Knospenschuppen mancher Bäume werden während der Winterruhe von einer gummiharzartigen Masse eingehüllt, so daß sie sich ganz klebrig anfühlen. Dieser Überzug wird bei der Roßkastanie (Aesculus hippocastanum) von Drüsenhaaren oder Leimzotten (Kolleteren) gebildet, die aus einem kurzen, mehrzelligen Stiel und einem breiten, vielzelligen Köpfchen bestehen. Indem dieses unter der Kutikula reichlich Gummiharz absondert und schließlich die ganze Oberfläche damit überzieht, wird die Knospe gegen Austrocknen und gegen Kälte bis zu einem gewissen Grade geschützt. Die Drüsenhaare vieler insektenfressender Pflanzen scheiden eiweißverdauende Fermente (Pepsin) aus und wirken als Verdauungsdrüsen (Pinguicula, Dionaea). Andere Haare dienen als Schattenspender, Wärmeschutz, als Klettervorrichtung (Hopfen) oder als Reizempfänger (Dionaea und Staubfadenhaare von Centaurea).

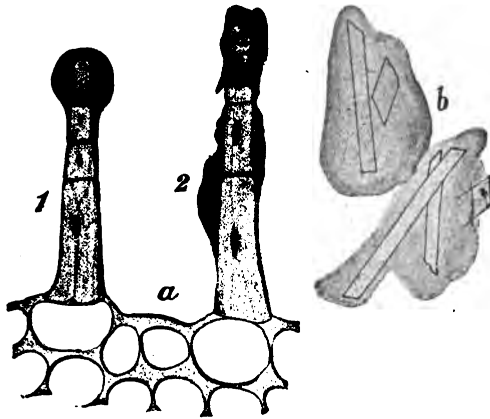


Fig. 62. Drüsenhaare von Primula obconica. *a* Stück eines Querschnittes des Blattstiels mit 2 Drüsenhaaren. 1 junges Haar an der Spitze mit dem giftigen Sekret, 2 älteres Haar mit herabfließendem Sekret. *b* Sekretmassen, in denen das Primelgift auskristallisiert. Vgr. bei *a* und *b* 180. Original.

Emergenzen. Alle bisher betrachteten haarartigen Gebilde leiten sich nur von der Oberhaut ab, sind also echte Haare oder Trichome. Von diesen werden diejenigen haar- oder stachelartigen Gebilde als Emergenzen unterschieden, die nicht bloß aus

der Epidermis, sondern auch aus dem darunterliegenden Gewebe entstehen, ja mitunter sogar Stranggewebe enthalten. Die Stacheln der Rose, die der Fruchtschale der Roßkastanie, des Stechapfels und die sog. Tentakeln oder Verdauungsdrüsen des Sonnentaus (Drosera) gehören hierher. Diese an der Oberfläche der Blattspreite entspringenden Tentakeln bestehen bei Drosera rotundifolia aus einem vielzelligen Stiel und ebensolchen Köpfchen, durch welch beide sich ein Gefäßbündel erstreckt. Das Köpfchen scheidet durch die poröse Kutikula eine klare, klebrige, pepsinhaltige Flüssigkeit aus, an der Insekten wie auf einem Leimspindel kleben bleiben und dann verdaut werden.

Kork oder Periderm. Solange die Teile der Pflanze jung sind, werden sie von der Oberhaut bedeckt. Allein dieses verhältnismäßig zarte und gewöhnlich nur aus einer einzigen Lage von Zellen bestehende Gewebe genügt nicht auf die Dauer, daher wird es bei ausdauernden Organen durch ein sekundäres Hautgewebe, durch Kork oder Periderm ersetzt. Nur in seltenen Fällen bleibt die Epidermis lange erhalten, wie z. B. bei der Mistel (Viscum). An den Stengeln unserer meisten Gehölze sieht man schon im Sommer die grüne Farbe des Stengels verschwinden und einer grauen oder bräunlichen Platz machen, da sich der Kork bereits zu entwickeln beginnt.

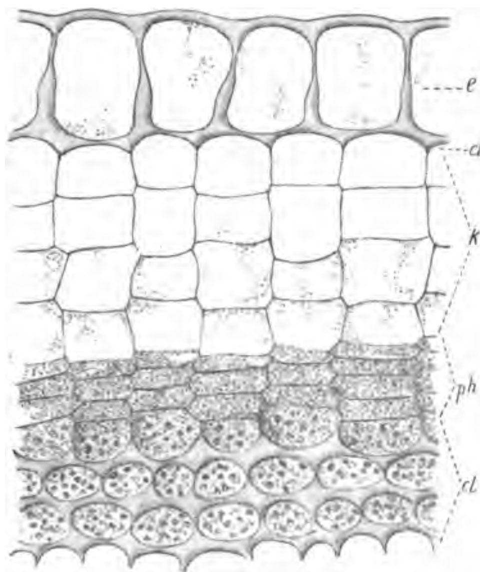


Fig. 63. Korkbildung in der Rinde vom Hollunder, Sambucus nigra. *e* Epidermis, *k* Kork, *ph* Phellogen, das hier aus Kollenchym *cl* entsteht. Vgr. 285. Original.

Der Kork ist anatomisch ausgezeichnet durch die lückenlose Verbindung, durch die reihenartige, radiäre Anordnung seiner Zellen am Querschnitt und endlich durch das Suberin in seinen Wänden (S. 41). Diese Eigenschaften bedingen gewisse physikalische Eigen-

schaften des Korkes, seine schwere Durchlässigkeit für Wasser und Gase. Durch eine ganz dünne Korkschichte läßt sich weder Gas noch Wasser in erheblicher Menge durchfiltrieren, im Gegensatz zu Holz und Mark.

Der Kork geht entweder aus der Oberhaut oder aus den darunter liegenden Geweben, dem Kollenchym oder Rindenparenchym, hervor. Die betreffenden Zellen teilen sich durch tangential verlaufende Wände und so entsteht nach und nach ein Folgemeristem oder Phellogen, das nach außen Korkzellen und nach innen neue Phellogenzellen abschnürt (Fig. 63, vgl. auch S. 63).

Das Phellogen kann aber zuweilen auch nach innen dem Kork ähnliche, aber unverkorkte Zellen, das Phelloderm, liefern. Sie enthalten Chlorophyll, bleiben lange lebendig und nähern sich überhaupt physiologisch den Rindenparenchymzellen.

Die Korkzellen sind meist tafelförmig, dünnwandig, seltener all- oder einseitig verdickt. Sie sterben bald ab und füllen sich mit Luft oder mit rotbraunen Stoffen (Phlobaphenen).

Der gewöhnliche Flaschenkork stammt von der Korkeiche, Quercus suber. Der erste Kork, den dieser Baum liefert, der sogenannte „männliche" Kork, ist unbrauchbar. Erst wenn dieser nach dem 15. Jahre (bis auf) das Phellogen künstlich entfernt wird, antwortet der Baum darauf mit der Entwicklung des elastischen „weiblichen" Korks, der den wertvollen, technisch verwertbaren Kork liefert, alle 7 Jahre geschält wird, sich aber immer wieder von neuem bildet. An diesem Flaschenkork lassen sich auf dem Querschnitte konzentrische Schichten unterscheiden, die den jährlichen Zuwächsen entsprechen. Sie kommen dadurch zustande, daß die gegen den Herbst gebildeten Korkzellen dickwandiger und mehr tangential flach gedrückt sind als die im Frühjahr entstehenden. Die den Flaschenkork senkrecht zur Oberfläche des Baumes durchziehenden, mit einer pulverigen Masse erfüllten Kanäle gehören den Rindenporen an (S. 62).

Der Kork fehlt den Kryptogamen fast völlig. Bei den Phanerogamen ist er an ausdauernden Stämmen und Wurzeln allgemein verbreitet. Auch an Knollen (Kartoffel), fleischigen Wurzeln und Knospenschuppen findet er sich vor und außerdem dient er häufig dazu, Wunden zu verschließen (Wundkork).

Ähnlich wie die Kutikula, nur noch in vollendeterem Maße, hemmt das Periderm gleichsam wie ein Fettmantel die Transpiration, hilft der Pflanze haushälterisch mit dem Wasser umzugehen

und sie so vor dem Vertrocknen zu schützen. Da es mit Luft erfüllt ist, hat er ein geringes Wärmeleitungsvermögen und bewahrt die Pflanze vor allzustarken Temperatursprüngen.

Lentizellen. Der Kork ist unter anderm dadurch ausgezeichnet, daß seine Zellen lückenlos aneinander schließen und den Gasaustausch sozusagen unterbinden. Es müßten daher die unter dem Kork liegenden lebenden Gewebe der Rinde und des Holzes ersticken, wenn nicht Ventile geschaffen worden wären, die einen teilweisen Gasaustausch gestatten. Solche Eintrittspforten für Luft sind die Rindenporen oder Lentizellen. Sie geben sich meist als warzenförmige oder längliche Höckerchen oder strichförmige Gebilde zu erkennen und sind an den nicht zu alten Zweigen der

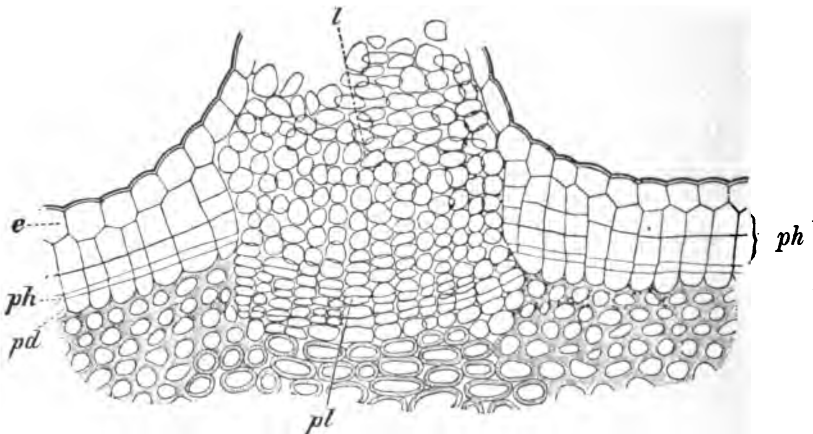


Fig. 64. Lentizelle vom Hollunder, Sambucus nigra, im Querschnitt. *e* Epidermis, *ph* Phellogen des Periderms, *pl* Phellogen oder Verjüngungsschicht der Lentizelle, *l* Füllzellen, *pd* Phelloderma. Vgr. 90. Nach Stahl.

meisten Gehölze leicht aufzufinden. Nur wenige Holzgewächse entbehren der Rindenporen: Weinstock, Pfeifenstrauch (Philadelphus), Eibe u. a. Ihre Größe schwankt. Von kleinen, eben noch sichtbaren Lentizellen bis zu 10 mm großen und noch größeren gibt es viele Übergänge.

An der Unterseite der Sprosse treten meist mehr Lentizellen auf als an der Oberseite. An alten Stämmen, an denen die äußeren Schichten als Borke abgestoßen wurden, gehen auch die Lentizellen verloren, doch können sie bei manchen Bäumen (Birke, Kirschbaum) noch in ziemlich hohem Alter als lange braune Querstreifen beobachtet werden. Sowie die Korkbildung an dem jungen

Zweig einsetzt, stellt sich auch schon die Lentizellenbildung ein. Sie nimmt ihren Ausgangspunkt gewöhnlich unter einer Spaltöffnung oder einer Gruppe von solchen, indem die hier liegenden Rindenparenchymzellen sich abrunden und durch tangentiale Wände teilen. Auf diese Weise entsteht ein Folgemeristem oder die Verjüngungsschichte, die sich an das benachbarte Phellogen anschließt und nach außen das von Luftgängen durchsetzte Füllgewebe erzeugt. Dieses kann sich entweder aus ziemlich dicht gelagerten Zellen (Sambucus) oder aus abwechselnden Schichten von dicht und locker gefügten Zellen aufbauen, zwischen denen schmale Luftgänge auftreten. Die Füllzellen sind gewöhnlich verkorkt, lufthältig und unterscheiden sich von den Korkzellen dadurch, daß sie meist rund sind. Nach und nach erreicht das Füllgewebe ein derartiges Volumen, daß die Oberhaut gesprengt wird und die toten Füllzellen nach außen gedrängt, von unten aber durch die Verjüngungsschichte wieder ersetzt werden (Fig. 64).

Die Lentizellen dienen dem Gasaustausch und dem Austritt des Wasserdampfes, sie haben also eine mit den Spaltöffnungen vielfach gleiche Aufgabe zu erfüllen.

2. Das Grundgewebe.

Mit diesem Namen bezeichnet man diejenigen Gewebemassen, die den Raum zwischen dem Haut- und Stranggewebe ausfüllen. Die weichen Teile des Pflanzenkörpers, das Blattfleisch, die fleischigen Wurzeln und das Fruchtfleisch werden hauptsächlich vom Grundgewebe gebildet und an seinem Aufbau nimmt das Parenchym einen hervorragenden Anteil.

Verteilung. In der jungen Wurzel liegt das Stranggewebe als Bündel gewöhnlich in der Mitte, um dieses herum erscheint das Grundgewebe gelagert, das nach außen vom Hautgewebe umschlossen wird.

Im Stengel ist die Verteilung verschieden, je nachdem es sich um einen mono- oder dikotylen Stengel handelt. Bei den Monokotylen ist das Stranggewebe in Form zahlreicher Bündel über den ganzen Querschnitt des Stammes zerstreut und dazwischen liegt gewissermaßen als Füllmasse das Grundgewebe. Beim jungen dikotylen Stengel sind die Strangbündel am Querschnitt in einem Ring angeordnet, wodurch das Grundgewebe in

eine zentral gelegene Partie, das Mark, und in eine periphere, die Rinde geschieden wird. Die zwischen den noch getrennten Bündeln liegenden Parenchymgewebe, die die Verbindung zwischen Mark und Rinde herstellen, sind die Markstrahlen (Fig. 72).

Im Blatte endlich liegt zwischen dem Hautgewebe das großenteils aus Chlorophyllparenchym ausgebildete Grundgewebe, in dem das Stranggewebe als Blattnervatur eingeschlossen ist. Man nennt es auch Mesophyll.

Das Grundgewebe dient vornehmlich der Ernährung und Speicherung der Nährstoffe.

Bau. Das Grundgewebe kann sich aufbauen aus Parenchym, Sklerenchym, Kollenchym und sekretführenden Zellen.

Das Parenchym bildet die Hauptmasse; je nach seinem vorwiegenden Inhalt spricht man von Chlorophyll-, Stärke-, Zucker- oder Fettparenchym. Enthält es viel Chlorophyll, so dient es vorwiegend der Kohlensäureassimilation, führt es viel Reservestoffe, fungiert es als Speicher.

Sklerenchym-, Steinzellen oder Sklereiden sind Zellen, deren Wände sehr stark, oft so stark verdickt sind, daß der innere Hohlraum oder das Lumen nur mehr einem Pünktchen gleicht. Sie können einzeln oder in Nestern oder in ausgedehnten Gewebezügen an dem Aufbau des Grundgewebes teilnehmen. Die eigentümlichen kleinen harten Gebilde im Fruchtfleisch der Birne (Fig. 30) und die steinharten Schalen der Kerne unseres Steinobstes setzen sich aus solchen Steinzellen zusammen. Im Grundgewebe treten oft Zellen auf — die Steinzellen gehören gleichfalls dazu —, die durch ihren Bau oder ihre Chemie oder durch beides von den benachbarten Zellen abweichen. Man nennt solche Elemente Idioblasten.

Das Kollenchym (vgl. Fig. 32) setzt sich entweder aus parenchymatischen oder prosenchymatischen Zellen zusammen; im ersteren Falle zählen wir es zum Grund-, im letzteren Falle zum Stranggewebe. Die Kollenchymzellen, deren Wände leicht dehnbar und stets unverholzt sind, fungieren namentlich in noch wachstumsfähigen Organen als mechanisches Gewebe. Das Kollenchym liegt meist knapp unter dem Hautgewebe und bildet hier farblose Gewebezüge, die sich am Stengel von krautigen Pflanzen (Labiaten, Umbelliferen, Chenopodiaceen usw.) als weiße Streifen schon äußerlich bemerkbar machen.

Sekret- und Exkretbehälter finden sich gleichfalls häufig im Grundgewebe vor. Man spricht von Sekretbehältern, wenn sie Stoffe ausscheiden und von Exkretbehältern, wenn sie Endprodukte des Stoffwechsels aufspeichern. Zwischen beiden gibt es Übergänge.

Dem Baue nach können diese Behälter im Grundgewebe ausgebildet sein als einzelne Zellen, Zellenkomplexe, Gefäße und Interzellularen. Diese letzteren entstehen entweder schizogen, falls sie durch Auseinanderweichen benachbarter Zellwände zustandekommen, lysigen, wofern sie durch Auflösung, und rhexigen, wenn sie durch Zerreißen der Zellwände gebildet werden.

Der Inhalt kann sehr verschieden sein: Kalkoxalat, ätherische Öle, Schleime, Harze, Fermente, Gerbstoffe, Milchsaft, Luft usw. Dazu einige Beispiele:

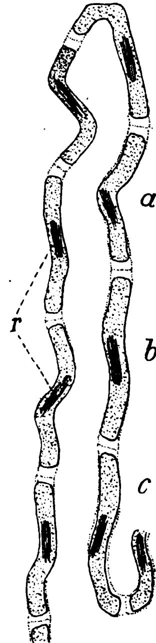


Fig. 66. Inhalt der Schleimgefäße von Dichorisandra ovata freigelegt. *a*, *b* und *c* Inhalt dreier aneinander stoßender Gefäßglieder, *r* Raphidenbündel. Original.

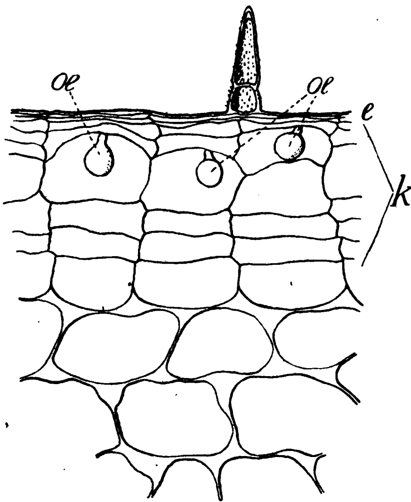


Fig. 65. Gestielte Ölbehälter im Stengelkork des Mottenkrautes, Plectranthus fruticosus. *e* Epidermis, *k* Kork mit 3 Ölbehältern *oe*. Vgr. 500. Original.

a) Die Labiaten enthalten sehr häufig Zellen mit einem großen Tropfen ätherischen Öls. In besonderer Weise erscheint dieses Öl im älteren Stengel des Mottenkrauts, Plectran-

thus fruticosus, untergebracht: Knapp unter den äußersten abgestorbenen Korkzellen findet sich in vielen, aber noch lebenden Korkzellen ein Ölbehälter in Form eines gestielten Sackes, der im Lumen der Zelle aufgehängt erscheint (Fig. 65). Solche Behälter trifft man auch in den Wurzelstockschuppen von Asarum europaeum und im Lorbeerblatt (Laurus nobilis).

Sehr häufig kommen ätherische Öle auch in lysigenen Interzellularen (Drüsen) vor. Die Behälter des Orangenöls in der Orangenschale, des Nelkenöls in den Gewürznelken, die durchsichtigen Punkte in den Blättern der Johanniskrautarten (Hypericum perforatum) sind Beispiele dafür.

b) Schleimzellen sind für die Familien der Malvaceen und der Orchideen charakteristisch. Bei den letzteren führen sie häufig je ein Raphidenbündel (Salepknollen). Schleimgefäße sind bei Liliaceen, Amaryllideen und Commelineen etwas sehr Gewöhnliches. Bei der Commelinee Dichorisandra ovata gelingt es sogar, den Inhalt der Schleimgefäße in folgender Weise aus dem Stengel weit herauszuziehen: der Stengel wird rasch mit einem scharfen Rasiermesser durchschnitten, die Schnittfläche in einem auf dem Objektträger befindlichen großen Tropfen von Jodjodkaliumlösung eingetaucht und hierauf sofort bei sanftem Druck die Schnittwunde über dem Objektträger sehr langsam und gleichmäßig hinweggezogen. Der austretende Schleim wird dabei fixiert, gefärbt und freigelegt (Fig. 66). Der Gefäßinhalt zeigt einen deutlichen Aufbau aus zylindrischen Gliedern, die wohl den ursprünglichen Zellen entsprechen. Die Glieder stoßen meist mit queren Grenzflächen aneinander und enthalten je ein großes Raphidenbündel, einen Zellkern und einzelne Eiweißspindel. Tradescantia zebrina verhält sich ähnlich.

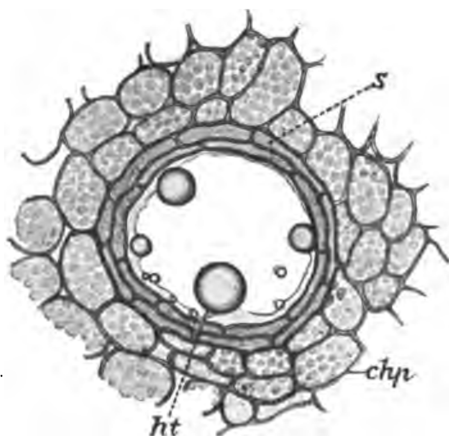


Fig. 67. Harzgang des Tannenblattes im Querschnitt. 2 Schichten Sekretzellen *s*, die nach innen Harztropfen *ht* abscheiden. Um den Harzgang Chlorophyllparenchym *chp*. Vgr. 180. Original.

c) Myrosinzellen. Fast alle Cruciferen sind durch Idioblasten ausgezeichnet, die mit einem Ferment, dem Myrosin, erfüllt sind, das das Glykosid Sinigrin in Zucker, Senföl und Kaliumbisulfat zu spalten vermag. Das Ferment und das Glykosid sind in der unversehrten Pflanze räumlich getrennt. Wenn die Pflanze aber zerschnitten oder zerquetscht wird, dann kommen die beiden Stoffe zusammen und wirken aufeinander. Das ist ja der Grund, warum man beim Verreiben von Senfsamen im Wasser oder beim Anbeißen eines Rettichs sofort das entsprechende Senföl riecht und schmeckt.

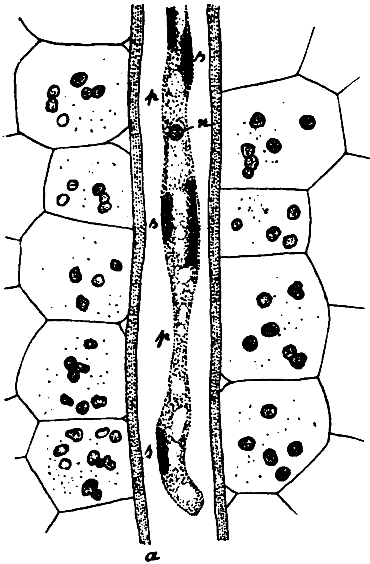


Fig. 68. Milchzeile *a* von Euphorbia splendens im Rindenparenchym. Die dem Plasmaschlauch *p* angehörenden Stärkekörper *s* sind alle parallel zur Längsachse der Milchröhre gerichtet. *n* Zellkern. Original.

d) Harze finden sich in einzelnen Zellen oder in Interzellularen vor, die häufig von eigenartigen, die Sekretion vermittelnden Zellen umschlossen sind. Die Fig. 99 stellt ein Tannenblatt im Querschnitt mit je einem rechts und links liegenden Harzgang dar. Ein solcher erscheint in der Fig. 67 vergrößert gezeichnet. Er ist von Chlorophyllparenchym umschlossen und besteht aus je zwei Lagen von schmalen Zellen, die in den eigentlichen Harzgang das Harz ab-

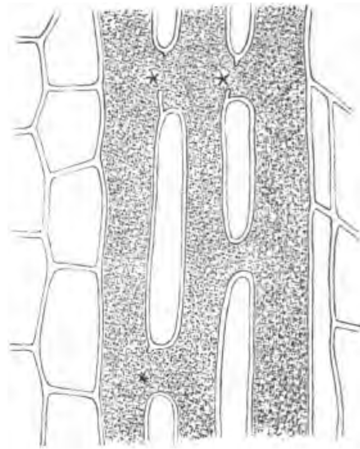


Fig. 69. Netzwerk von gegliederten Milchröhren im Tangentialschnitt der Stengelrinde des Giftlattichs, Lactuca virosa. Bei ** Reste von Scheidewänden. Vgr. 225. Nach de Bary.

scheiden. Gewisse Familien, Koniferen und Umbelliferen sind durch ihren Harzreichtum geradezu ausgezeichnet. —

Welche Bedeutung den besprochenen Sekreten und Exkreten zukommt, ist nur teilweise bekannt. Die Schleimzellen dienen wohl als Wasserspeicher, die ätherischen Öle, die den Geruch der Blüten bedingen, als Lockmittel für Insekten, und manche andere Sekrete als Schutz gegen Tierfraß. Die Harze widerstehen der Fäulnis und sind daher sehr geeignet, als Wundverschluß zu fungieren.

e) Milchröhren. Zu den häufig im Grundgewebe verlaufenden Sekret- bzw. Exkretbehältern gehören die gewissen Familien (Moraceen, Euphorbiaceen, Apocyneen, Asclepiadeen, Convolvulaceen, Sapotaceen, Campanulaceen, Lobeliaceen, Cichoriaceen usw.) eigentümlichen Milchröhren. Sie können entweder, wie bei den vier zuerst genannten Familien, einzelne, überaus lange verzweigte Zellen (S. 5), ungegliederte Milchröhren (Fig. 68), oder aber vielfach verzweigte Gefäße, gegliederte Milchröhren sein (Fig. 69). Die Milchröhren durchdringen den ganzen Pflanzenkörper nach allen Richtungen von der Wurzel bis zu der Stammspitze und lassen bei Verletzung den Milchsaft in weißen, selten in orangegelben (Chelidonium majus) Tropfen austreten. Sie sind lebende Gebilde, ihre Wand hat keine Poren und besteht aus reiner Zellulose. Die innere Oberfläche ist mit einem Plasmaschlauch ausgekleidet (Fig. 68), der viele Zellkerne, Vakuolen und bei den Wolfsmilcharten stab- oder knochenförmige Stärkekörner enthält. Der vom Plasma umhüllte Milchsaft selbst entspricht dem Zellsaft. Er besteht aus einer Flüssigkeit, in der gewöhnlich Kautschuk- oder Harzkügelchen von verschiedener Größe in großer Zahl liegen. Außerdem kann der Milchsaft noch verschiedene andere Stoffe enthalten: Kohlehydrate in Form von Stärke, Zucker und Inulin, Eiweiß, manchmal sogar in Form von Kristallen (Musa, Amorphophallus Rivieri), Harz, Guttapercha und Alkaloide; die letzteren bei den Papaveraceen in geradezu erstaunlicher Menge. Im Opium allein, dem eingetrockneten Milchsafte unreifer Kapseln des Schlafmohns (Papaver somniferum) kommen mehr als 20 verschiedene Alkaloide vor. Bemerkenswert ist der hauptsächlich aus Kohlenwasserstoffen bestehende und in Form mehr oder minder großer Kügelchen auftretende Kautschuk. Dieser für die Technik so wertvolle Rohstoff wird fast ausschließlich aus dem Milchsafte tropischer Gewächse (Ficus elastica, Castilloa, Hevea, Manihot usw.) gewonnen.

Auch Fermente treten im Milchsafte auf: in der Frucht des tropischen Melonenbaumes, Carica papaya, ein Labferment, das die Milch gerinnen macht, und ein eiweißlösendes, das Papayotin. Ein solches enthält auch der Milchsaft der Feige (Ficus carica).

Über die Bedeutung des Milchsaftes gehen die Meinungen ziemlich auseinander. Daß er wegen seiner leichten Gerinnbarkeit als Wundverschlußmittel wirken kann und daß er seiner eigentümlichen chemischen Zusammensetzung wegen als Schutzmittel gegen Tierfraß und bei Pflanzen sehr trockener Standorte als Wasserspeicher dienen dürfte, klingt sehr wahrscheinlich. Hingegen gilt seine ernährungsphysiologische Bedeutung als zweifelhaft, obwohl im Milchsafte sehr wertvolle Assimilate, wie Zucker, Stärke und Eiweiß auftreten und wohl nicht als Auswurfstoffe angesehen werden dürfen. Die Eigenschaften der Harze und des Kautschuks sprechen allerdings mehr für die Auffassung als Endprodukt des Stoffwechsels, denn sie werden, einmal gebildet, nicht mehr in den Stoffwechsel einbezogen.

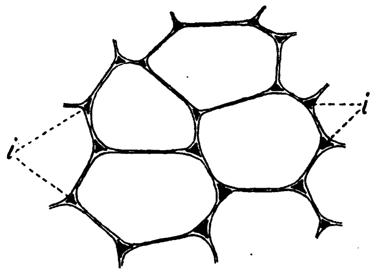


Fig. 70. Luftinterzellularen *i* zwischen den Parenchymzellen im Stamm von Impatiens Sultani. Die Interzellularen *i* erscheinen im Mikroskop wegen ihres Luftgehaltes schwarz. Original.

f) Luftinterzellularen kommen wohl in jedem Gewebesystem vor, doch nie so vorherrschend wie im Grundgewebe. Etwas ganz Gewöhnliches sind sie im Parenchymgewebe. Hier treten an den Ecken, wo die Zellen aneinander stoßen, häufig dreieckige Zwickel auf, die von Luft erfüllt sind und dann im Mikroskope schwarz erscheinen (Fig. 70). Sie entstehen schizogen, treten nach und nach in gegenseitige Verbindung und bilden schließlich ein auf weite Strecken zusammenhängendes Netz von Luftkapillaren (Fig. 71).

In den Blättern, wo der Gasaustausch ein sehr reger ist, werden die Interzellularen in dem Chlorophyllparenchym, insbesondere in dem an die Blattunterseite angrenzenden Schwammparenchym recht groß. Sie stehen mit den Atemhöhlen der Spaltöffnungen in direktem Zusammenhange und sorgen in ausgezeichneter Weise für gute Durchlüftung. Bei Pflanzen sehr trockener Gebiete sind die Luftinterzellularen verhältnismäßig klein, hingegen

bei untergetauchten oder schwimmenden Wasserpflanzen sehr groß. Die letzteren bedürfen großer Lufträume, einerseits zum Schwimmen, andererseits als Speicher für Luft, die sie ja im Wasser wegen der erschwerten Atmung besonders nötig haben. Auch hier bilden die Luftinterzellularen ein zusammenhängendes Netz, wovon man sich leicht überzeugen kann, wenn man die Blattspreite eines untergetauchten Seerosenblattes anritzt und dann durch die Schnittfläche des Blattstiels kräftig Luft mit den Backen einbläst. Sofort erhebt sich ein Gasblasenstrom von der verletzten Stelle. Die bedeutende Größe der Lufträume bei den Seerosen und anderen Wasserpflanzen (Fig. 71) ist darauf zurückzuführen, daß die Zellen, die die Interzellularen zunächst begrenzen, sich noch weiter teilen. Große Lufträume können auch durch Zerreißen und Zusammenfallen der Zellen und Gewebe entstehen, wie in manchen hohlen Stengeln der Gräser (Strohhalm, Bambusa, Doldenpflanzen [Angelica] u. a.). Solche hohle Stengel erscheinen in den Knoten durch quer verlaufende Gewebebrücken in einzelne Stockwerke gekammert (Gräser), ja es können auch innerhalb eines durch zwei Knoten abgegrenzten Stengelstückes (Internodiums) mehrere oder zahlreiche quere Scheidewände oder Diaphragmen auftreten, wie dies z. B. im Marke von Nußbaumzweigen beobachtet werden kann.

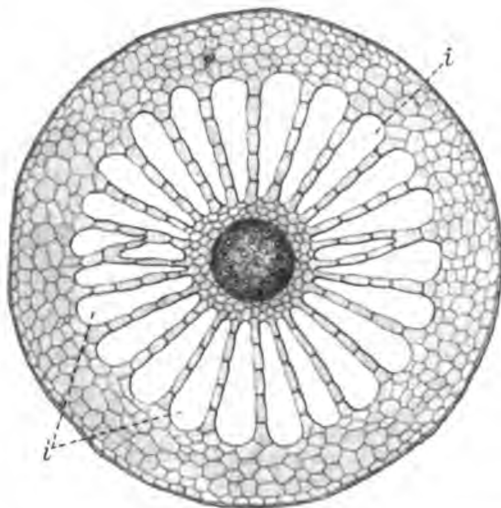


Fig. 71. Große Luftinterzellularen *i* im Stammquerschnitt von Myriophyllum proserpinacoides. Vgr. 25. Original.

Wie so oft in der Pflanze sich eine Einrichtung in verschiedenem Grade der Ausbildung zeigt, so auch hier: das Maximum von Durchlüftungsräumen zeigt sich bei Sumpf- und Wasserpflanzen. Man hat speziell die Parenchymgewebe mit so großen Lufträumen, wie sie bei Wasserpflanzen ausgebildet werden, und die der Haupt-

sache nach der Luftversorgung oder der Schaffung einer „inneren Atmosphäre“ dienen, als „Aërenchym“ bezeichnet. In vollendeter Ausbildung finden wir es bei Potamogeton, Myriophyllum, Scirpus und den schon vorhin genannten Seerosen.

Einen ausgesprochen schwammigen Charakter zeigt das Aërenchym bei den Wurzeln gewisser Pflanzen, die in einem sumpfigen Boden leben, wie die Vertreter der Mangroveformation. In Anpassung an das schlammige, sauerstoffarme Substrat wachsen die Wurzeln solcher Pflanzen (Sonneratia, Avicennia usw.) nicht wie gewöhnlich nach abwärts, sondern nach aufwärts über den Boden und verschaffen sich mit dem die Oberfläche bedeckenden Aërenchym die nötigen Sauerstoffmengen für die im Boden liegenden Teile. Sie werden daher als „Atemwurzeln“ bezeichnet.

3. Das Stranggewebe.

Ein Lindenblatt, im durchfallenden Lichte betrachtet, zeigt uns ein vielfach verzweigtes Netz von Strängen, die die ganze Blattmasse durchziehen: es ist das Geäder oder die Nervatur des Blattes. Fault das Blatt, so läßt sich die Oberhaut und das Grundgewebe leicht mit einer Zahnbürste wegschaffen, so daß nur das Stranggewebe als Blattskelett zurückbleibt.

Es gibt eine Gurkenart, Luffa aegyptiaca, die sich im fauligen Zustande auch vom Haut- und Grundgewebe befreien läßt, so daß schließlich nur das Stranggewebe zurückbleibt. Solche Luffafruchtskelette kommen in den Handel und werden gerne als Frottierlappen verwendet. Auch aus der Fruchthaut des Stechapfels (Datura), aus Kaktusstämmen und den Stengeln von manchen Doldenpflanzen können zierliche Stranggewebe gewonnen werden, die über den Verlauf derselben lehrreichen Aufschluß geben. Alle diese Stränge sind von den Farnen aufwärts bis zu den höchststehenden Pflanzen durch Gefäße ausgezeichnet und deshalb werden sie als Gefäßbündel oder Fibrovasalstränge oder, weil sie unter anderem in hervorragendem Maße der Saftleitung dienen, als Leitbündel bezeichnet.

Wird ein junger Stengel einer dikotylen Pflanze im Querschnitt unterm Mikroskop betrachtet, so erscheinen die Gefäßbündel zu mehreren in einen Ring, und zwar zunächst noch getrennt voneinander, angeordnet (Fig. 72). An jedem dieser Bündel lassen sich zwei verschiedene Gewebe unterscheiden, ein markwärts

gelegenes, der Holzteil oder das Xylem *x* und ein rindenwärts gelegenes, der Siebteil oder das Phloëm *ph*. Zwischen Holz- und Siebteil liegt eine Schicht Meristemzellen, die als Kambium bezeichnet wird. Von ihm geht die Bildung des Xylems und Phloëms aus (Fig. 73).

Es gibt Gefäßbündel, bei denen das Kambium bald völlig in Dauerzellen übergeführt wird und die dann kein Kambium mehr haben. Sie heißen geschlossene Gefäßbündel im Gegensatz zu den offenen, die ein Kambium besitzen. In Fig. 74 sind die beiden Bündel *a* und *b* offen. Je nach der Anordnung des Sieb- und Holzteils kann man ferner vier Hauptformen der Gefäßbündel

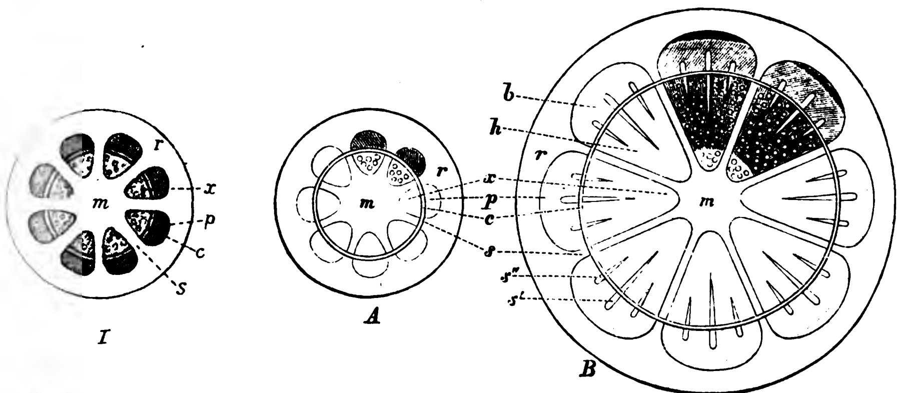


Fig. 72. Schema des sekundären Dickenwachstums eines dikotylen Stengels. I Anfangsstadium: Bündel noch getrennt. Durch den Bündelring wird das Stengelgewebe in einen zentralen Teil, das Mark *m* und einen peripheren, die Rinde *r* geteilt. A alles wie bei I, aber die Kambien erscheinen bereits durch die Interfaszikularkambien zu einem Kambiumring vereinigt. B. sekundärer Zustand. In den Figuren A. u. B.: *r* primäre Rinde, *m* Mark, *s* primäre Markstrahlen, *p* primäres Phloëm, *x* primäres Xylem, *c* Kambiumring. In B: *b* Bast, *h* Holz, *s'* ältere, *s''* jüngere sekundäre Markstrahlen. Fig. I Original, Fig. A u. B nach Rothert.

unterscheiden: kollaterale, bikollaterale, konzentrische und radiäre, die durch das folgende Schema — Fig. 74 — veranschaulicht werden. Kollaterale Bündel sind jene, bei denen sich der Holzteil nur mit einer Seite an den Siebteil anlehnt. Sie erscheinen am Querschnitt kreisrund oder elliptisch und sind hier gewöhnlich so gelagert, daß das Phloëm *p* im Stamme nach außen, das Xylem *x* nach innen und das Kambium *K* dazwischen liegt (Fig. 74a). Im Blatte findet sich dementsprechend das Phloëm unten und das Xylem oben.

Die kollateralen Bündel sind sehr verbreitet und für den Stamm und das Blatt der Dikotylen und Gymnospermen geradezu typisch. Auch bei den Equisetaceen, Ophioglosseen und den feineren Nerven der Farne treten sie auf. Wird ein solches Bündel außen und innen von je einem Siebteil berührt, so spricht man von einem bikollateralen Bündel (Fig. 74b). Solche finden sich im Stengel der Cucurbitaceen, Melastomaceen, Asclepiadeen, Apocyneen, des Tabaks, der Mistel u. a.

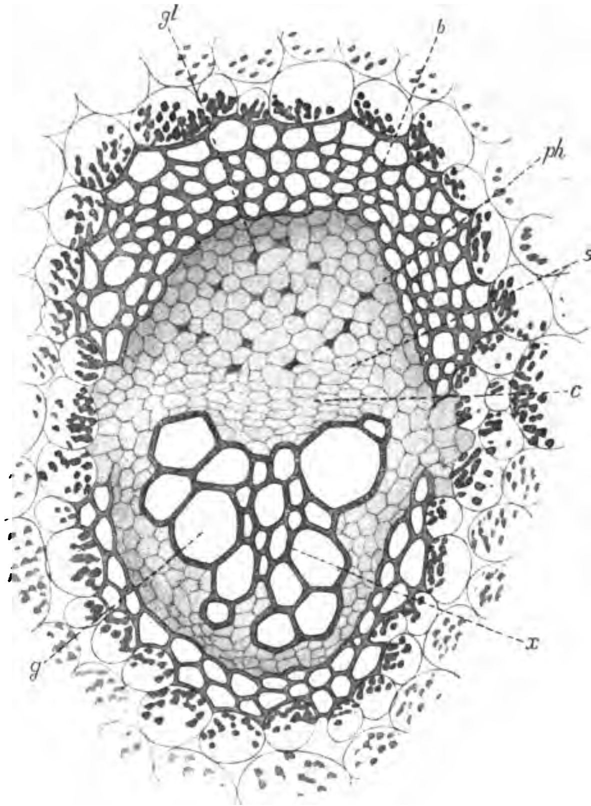


Fig. 73. Kollaterales Bündel aus dem Stengel von Ranunculus repens. *x* Xylem, *c* Kambium, *ph* Phloëm. *g* Holzgefäße, *s* Siebröhre, *gl* Geleitzelle, *b* Bastfaserbelag. Vgr. 250. Original.

Konzentrische Bündel kommen dadurch zustande, daß der Holzteil vom Siebteil umschlossen wird oder umgekehrt, der Sieb- vom Holzteil (Fig. 74c und Fig. 108). Das erstere kommt sehr häufig vor und ist namentlich für die Farne bezeichnend; auch die markständigen Bündel verschiedener dikotylen Gewächse gehören hierher: Piperaceen, gewisse Polygoneen, Begonia, Campanula u. a. Konzentrische Bündel mit dem Phloëm im Innern zeigen uns die Wurzelstöcke mancher Monokotylen, Cyperus aureus, Kalmus (Acorus), Schwertlilie (Iris). Die radiären Bündel haben ihren Namen davon, daß der Holz- und Siebteil am Querschnitt der

Wurzel strahlig, d. h. im Sinne des Radius angeordnet sind. Xylem und Phloëm liegen also nicht wie im Stengel auf demselben Radius, sondern auf verschiedenen benachbarten Radien, sie wechseln miteinander ab (Fig. 74*d*, 92 und 93). Die Zahl der Strahlen kann verschieden groß, bei den Dikotylen 2—8 und bei den Monokotylen bis 50 und mehr sein. Die radiären Bündel sind den Wurzeln eigentümlich, sonst treten sie selten auf, z. B. in den Stengeln der Lycopodiaceen und den Ausläufern des Farnkrautes Nephrolepis.

Bau. Das Xylem kann aus vier Elementarorganen aufgebaut sein: 1. Dem Gefäß oder der Trachee, 2. der Tracheide, 3. der Libriformfaser und 4. dem Holzparenchym (Fig. 75). Die Tracheide unterscheidet sich von dem Gefäß (S. 33) wesentlich nur dadurch, daß die Tracheide eine Zelle, das Gefäß hingegen eine Röhre ist, die aus einer Zellreihe durch teilweise oder

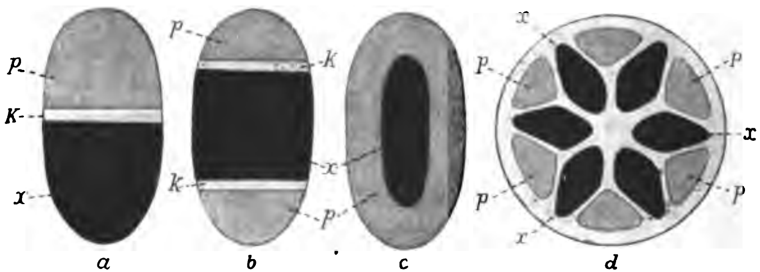


Fig. 74. Schema der 4 Hauptformen der Gefäßbündel. *a* kollaterales, *b* bikollaterales, *c* konzentrisches, *d* radiäres Bündel. In allen Figuren: *k* Kambium, *p* Phloëm, *x* Xylem. Original.

völlige Auflösung der Querwände entstanden ist. Die Verdickungen der Gefäße können auch an den Tracheiden auftreten und in der Funktion der Wasserleitung stimmen sie gleichfalls überein. Die Libriformfaser ist eine prosenchymatische, verholzte, ziemlich dickwandige Zelle, die sich von der Tracheide dadurch unterscheidet, daß sie stets einfache (meist spaltenförmige) Tüpfel besitzt, während die Tracheide stets behöfte Tüpfel aufweist. Die Libriformfaser dient der Festigkeit, die Tracheide aber hauptsächlich der Wasserleitung. Das Holzparenchym wird durch längliche verholzte Parenchymzellen gebildet, die in Längsreihen parallel zur Längsachse des Stammes angeordnet sind. Die am Ende der Reihen stehenden Zellen erscheinen etwas zugespitzt. Im Gegensatz zu den Tracheen, Tracheiden und vielen

Libriformfasern sind die Holzparenchymzellen lebende Zellen, führen Plasma und Kern, sind porös verdickt, dienen der Stoffwanderung und führen im Winter reichlich Stärke und Fett.

Das Phloëm kann bestehen aus 1. den Siebröhren, 2. Geleitzellen, 3. Bastparenchym- und 4. Bastzellen (Fig. 76).

Die Siebröhren *s* gehen ebenso wie die Tracheen aus Reihen übereinanderliegender, gestreckter Zellen hervor, deren Querwände eine siebartige Durchlöcherung erfahren und dadurch in offene Verbindung treten. Die Siebröhren sind also auch Gefäße, aber mit einer anderen Aufgabe als die Holzgefäße, denn sie dienen der Leitung der Assimilate, hauptsächlich der Eiweißkörper. Sie sind auch nicht tot, sondern enthalten einen dünnen Plasmabelag, einen leicht zu übersehenden Kern und eine sehr eiweißreiche schleimige Substanz. Ihre Wände sind nie verholzt.

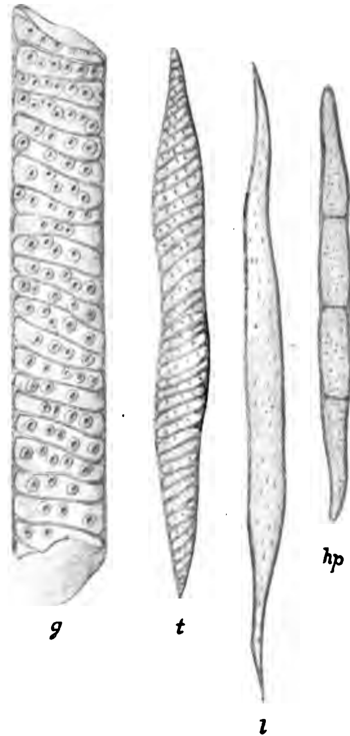


Fig. 75. Isolierte Bestandteile des Lindenholzes. *g* Gefäß, schraubig verdickt und behöft getüpfelt. Oben und unten die Querwand aufgelöst. *t* Tracheide schraubig verdickt. *l* Libriformfaser mit spaltartigen Poren. *hp* 4 Holzparenchymzellen. Vgr. 240. Original.

Sind die die einzelnen Siebröhrenglieder trennenden Wände quer gestellt, so verwandelt sich die Querwand fast der ganzen Fläche nach in eine Siebplatte (Fig. 76) *sp*, bei Schiefstellung der Querwand aber bilden sich mehrere Siebplatten übereinander (Fig. 77). Für die Untersuchungen der Siebröhren eignen sich besonders Cucurbitaceen, der Weinstock und andere Lianengewächse, weil hier die Siebröhren zur Stoffleitung besonders stark in Anspruch genommen werden und daher sehr breit sind. Auch die Porenkanäle in den Siebplatten sind bei den Lianen auffallend breit, und geben sich hier, wie auch bei vielen anderen Angiospermen, als deutliche vom Plasma durchsetzte Löcher in der Aufsicht zu erkennen. Bei den Gymno-

spermen und Farnen weisen die Siebfelder nur sehr schmale Plasmodesmen auf.

Geleitzellen. Die Siebröhren der Angiospermen sind von schmäleren, gestreckten, lebenden Zellen begleitet, die durch Längsteilung aus derselben Mutterzelle wie die Siebröhre hervorgehen. Man nennt sie Geleitzellen (Fig. 76 *g*).

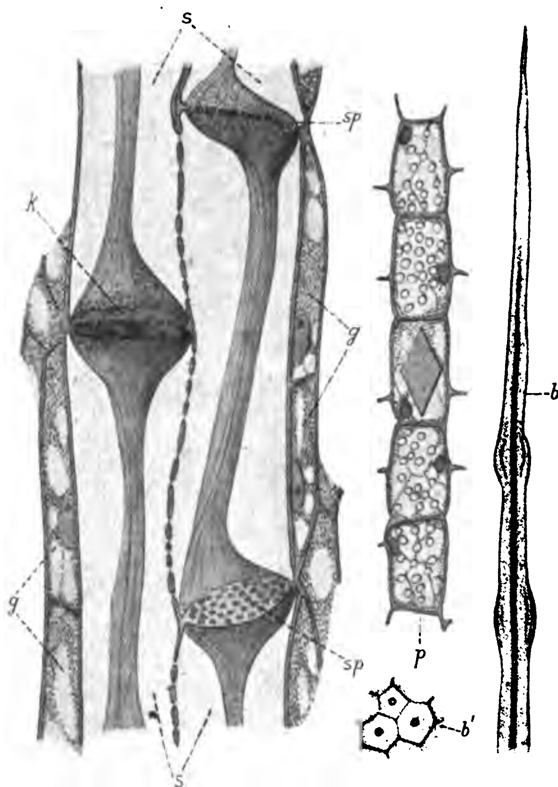


Fig. 76. Elemente des Phloëms. Cucurbita pepo (Kürbis). *s* Siebröhren, *sp* Siebplatte, *k* Kallus, der Siebplatte aufgelagert, *g* Geleitzellen. Vgr. 250. Tilia sp. (Linde) Bastparenchymzellen, die mittlere mit einem Kristall. Vgr. 285. Linum usitatissimum (Flachs). *b* Teil einer Bastfaser in der Längsansicht, *b'* 3 solche Fasern im Querschnitt. Vgr. 285. Original.

Bastparenchym. Gewisse Dikotylen, Gymnospermen und Farne führen im Phloëm auch längliche Parenchymzellen, die als Bastparenchymzellen bezeichnet werden (Fig. 76 *p*).

Über Bastfasern vgl. S. 79. Hier sei nur bemerkt, daß die Bastfasern auch unabhängig vom Phloëm, das Gefäßbündel mehr oder minder umsäumend (Fig. 73) oder ganz für sich, z. B. als subepidermale Bündel, auftreten können.

Auf einem Querschnitt knapp unter dem Vegetationspunkt eines monokotylen oder dikotylen Stengels sieht man zahlreiche kleine, meist rundliche Gruppen von Meristemzellen, die Prokambiumstränge, aus denen sich die Gefäßbündel entwickeln. Die Prokambiumstränge sind ihre Vorläufer. Die Prokambiumzellen stellen

zarte, plasmareiche, längliche Zellen mit meist dachförmig zugespitzten Enden dar. Nach und nach gehen sie in Dauerzellen des Phloëms und Xylems über, aber bei den offenen Bündeln bleibt zwischen diesen beiden Dauergeweben eine schmale Schicht von Meristemzellen übrig, das Kambium. Seine Zellen sind abgeplattete Prismen mit dachförmig zugespitzten Enden. Den Prokambium- und Kambiumzellen ähnlich sind die dem Phloëm angehörenden Kambiformzellen, die sich ohne Querteilung aus den Kambiumzellen entwickeln, wie ihr Name schon andeutet, in ihrer Form an die Kambiumzellen erinnern und sich wahrscheinlich an der Leitung von organischen Stoffen beteiligen.

Hadrom und Leptom. Der Fibrovasalstrang hebt sich von seiner Umgebung scharf ab und macht, rein gestaltlich betrachtet, den Eindruck einer anatomischen Einheit, ist es aber, physiologisch gemessen, nicht, denn die Aufgaben seiner einzelnen Teile sind recht verschieden. Die dem Xylem angehörenden Gefäße und Tracheiden dienen als tote Elemente in erster Linie der Wasserleitung und das hier liegende Holzparenchym sorgt für die Leitung und Speicherung der Kohlehydrate. Die Siebröhren, Geleit- und Kambiformzellen fungieren als Eiweißleiter, vielleicht auch als Eiweißspeicher. Mit anderen Worten: Sowohl das Xylem als auch das Phloëm dienen der Leitung. Aber in dem Fibrovasalstrang kommen, mit den anderen Elementen innig vereint, auch Zellen vor, die Libriform- und Bastfasern, die, wie sich herausgestellt hat, eine ganz andere Aufgabe, die der Festigung zu erfüllen haben. Daher werden die Festigkeitselemente von den physiologischen Anatomen nicht zu den der Leitung dienenden Gefäßbündeln gerechnet, sondern dem mechanischen Gewebesystem zugewiesen.

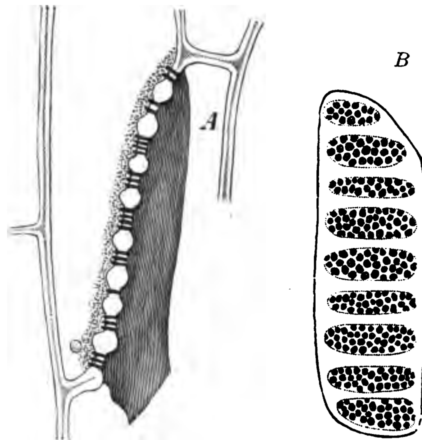


Fig. 77. A. Grenze zweier Siebröhrenglieder des Weinstocks (Vitis vinifera). Die schräge Querwand ist längs. durchschnitten. Vgr. 600. Nach de Bary. B. eine solche Querwand von der Fläche gesehen. Schema mit Benutzung einer Figur de Barys nach Rothert.

Dementsprechend wurden auch für die einzelnen Hauptteile eines Leitbündels in anatomisch-physiologischem Sinne neue Bezeichnungen eingeführt.

Man nennt die aus Holzgefäßen, Tracheiden und Holzparenchym sich zusammensetzende Gewebemasse, also das Xylem weniger Libriform Hadrom[1]) und das aus Siebröhren, Kambiform und Siebparenchym bestehende Gewebe, also das Phloëm weniger Bastfasern, Leptom[1]). Fehlen dem Phloëm die Bastfasern, so sind Leptom und Phloëm identisch.

Leptom und Hadrom müssen nicht immer miteinander vereinigt sein, denn es gibt genug Fälle, wo der Strang nur aus Gefäßen oder aus wenigen Tracheiden oder aus beiden zugleich besteht. Auch Leptombündel können für sich auftreten, wie dies in vielen Blütenschäften (Plantago lanceolata, in Stengeln von Solanumarten, mancher Campanulaarten und verschiedener Cichoriaceen) verwirklicht ist. Bastfreie Fibrovasalstränge kommen recht häufig vor und werden als Mestomstränge oder kurzweg als Mestom bezeichnet.

4. Das mechanische Gewebesystem.

Eine Überlegung lehrt, daß die Pflanze nur bestandfähig bleibt, wenn sie gewissen äußeren, mechanischen Kräften gegenüber genügend widerstandsfähig gebaut, also genügend fest ist. Das gilt vom einfachen Algenfaden ebenso wie von einem Grashalm, einer Palme oder einem riesigen Eucalyptusbaum.

Die Inanspruchnahme auf Festigkeit kann eine sehr verschiedenartige sein. Ein im Winde wogendes Getreidefeld lehrt uns, wie die Kraft des Windes den Halm zu biegen und zu brechen sucht. Er wird auf Biegungsfestigkeit in Anspruch genommen. Ein Baumstamm hat die Last der Baumkrone zu tragen, sein Gewicht wirkt parallel zur Längsachse, er muß also, um gegen Einknicken geschützt zu sein, säulen- oder strebefest sein.

Ein Kirsch- oder Pfirsichkern ist steinhart und gegen seitlich wirkende Kräfte druckfest gebaut.

Wenn aber der Wind sich auf die Baumkrone legt, so sucht er den Stamm nicht bloß zu biegen, sondern auch zu entwurzeln;

---

[1]) ἁδρός grob und λεπτός zart: Die Ausdrücke wurden mit Rücksicht auf die Derbheit und Zartheit im Bau der betreffenden Gewebe gewählt.

die Wurzel wird gezogen und würde zerrissen werden, wenn sie nicht zugfest wäre. Auf das Blatt wirken endlich mechanische Kräfte scherend, d. h. sie suchen die Teilchen aufeinander zu verschieben, sie müssen daher schubfest sein.

Spezifisch mechanische Zellen. Mit fortschreitender Arbeitsteilung und Anpassung haben sich in der Pflanze Zellen entwickelt, deren ausschließliche oder wenigstens vorherrschende Funktion die Festigkeit ist. Zu diesen Elementen gehören: 1. die Bastzellen oder Bastfasern, 2. die Libriformfasern, 3. die Kollenchymzellen und 4. die Stein- oder Sklerenchymzellen. Alle zusammen bilden das Skelett der Pflanze und werden auch Stereiden genannt. Über die genannten Elemente wurde schon früher verschiedenes gesagt, so daß hier nur wenige Bemerkungen genügen werden.

Die Bastfasern (Fig. 76) stellen die mechanischen Zellen in ihrer vollendetsten Form dar. Sie stimmen in ihrem Bau mit den Libriformfasern wesentlich überein und stellen prosenchymatische, an ihren Enden zugespitzte, dickwandige, meist mit schmalen Lumen versehene Zellen dar, die mehr oder minder (Jute, Hanf) oder gar nicht verholzt (Lein) sind. Die Bastfasern bilden entweder Stränge für sich — sehr häufig knapp unter der Epidermis vieler Gräser — oder sie schließen sich dem zarten Leptom, dem sie mechanischen Schutz gewähren, oder anderen Teilen des Gefäßbündels an.

Die Kollenchymzellen (vgl. S. 31) sind meist prosenchymatische, seltener parenchymatische Zellen, die vorwiegend an den Kanten verdickt sind, wodurch sie sowohl am Quer- wie am Längsschnitt ein charakteristisches Aussehen erhalten (Fig. 32). Ihre Wände führen meist spaltenförmige Poren und sind nie verholzt. Die Kollenchymzellen bleiben auch in völlig ausgewachsenen Pflanzenteilen lebend und enthalten häufig, wenngleich auch nur spärlich, Chlorophyllkörner.

Das Kollenchymgewebe ordnet sich häufig zu Strängen knapp unter der Stengeloberhaut an und gibt sich dann in Form von hellen Streifen oder etwas vorspringenden Rippen kund (Chenopodium, Labiaten, Umbelliferen). — Bast- und Libriformfasern besorgen die Festigkeit in ausgewachsenen Organen, das Kollenchym hingegen sorgt auch für die Festigkeit in noch jungen, streckungsfähigen Teilen und dazu wird es durch die eigentümliche Ver-

dickungsweise seiner Wände und die lange andauernde Teilungs- und Wachstumsfähigkeit seiner Zellen besonders befähigt.

Die Sklerenchymzelle, auch Steinzelle (Fig. 30) genannt, ist auffallend verdickt, oft so stark, daß der innere Hohlraum nur mehr punktförmig erscheint. Die Wand ist oft schön geschichtet und reichlich von Porenkanälen durchsetzt, wodurch sie ein strahliges Aussehen erhält. Ihre Form kann sehr verschieden sein: rundlich, abgerundet polygonal (Birne und Podocarpus), langgestreckt (Kaffeebohne), palisaden- (Samenschale der Bohne), schenkelknochen- (Hackeablatt) oder geweihförmig (Teeblatt) (Fig. 30).

Elastizität und Festigkeit. Einschlägige Versuche haben ergeben, daß die Festigkeit der mechanischen Zellen entsprechend ihrer Funktion eine außerordentliche, ja überraschende ist. Schneidet man aus dem Blatte des neuseeländischen Flachses, Phormium tenax einen Riemen von etwa 10 cm Länge und etwa 5—10 mm Breite heraus und spannt man ihn in einen einfachen Zerreißungsapparat in der Weise ein, daß man das obere Ende in einem Schraubstock und das untere mit einer Klemme festhält, die eine Schale zur Aufnahme von Gewichten trägt, so kann man sich leicht überzeugen, wie überaus groß das Tragvermögen eines solchen an Bastzellen sehr reichen Riemens ist. Die durch die Belastung hervorgerufene Verlängerung und die nach der Entlastung erzielte Verkürzung können leicht gemessen und die Querschnittsfläche der mechanischen Zellen kann mikroskopisch bestimmt werden. Derlei Beobachtungen ergeben interessante Aufschlüsse: Das Tragvermögen der Bastfasern vermag an der Elastizitätsgrenze mit dem des Schmiedeeisens, ja in einzelnen Zellen sogar mit dem des Stahles zu wetteifern und schwankt pro qmm Querschnittsfläche meist zwischen 15—20 kg. Es bestehen aber zwei wichtige Unterschiede zwischen den Bastzellen und den Metallen: Erstens haben die Bastzellen eine viel größere Dehnbarkeit. Während sich Bastfasergewebe bei der Elastizitätsgrenze um etwa 10—15 Längeneinheiten auf 1000 verlängert, beträgt die entsprechende Verlängerung bei Metallen durchschnittlich nur eine Längeneinheit. Zweitens besteht bei den Bastfasern ein auffallend geringer Unterschied zwischen Tragvermögen an der Elastizitätsgrenze und dem absoluten Tragvermögen, d. h. wenn die Zugkraft, die eine Verlängerung bis zur Elastizitätsgrenze bei Bastzellen bewirkt, nur um ein Geringes überschritten wird, so tritt sofort ein Zerreißen ein,

während bei den Metallen eine größere Überschreitung der Elastizitätsgrenze möglich ist.

Das Kollenchym läßt gleichfalls an Tragfähigkeit nichts zu wünschen übrig und steht darin den Bastfasern nur wenig nach. Es ist aber viel weniger elastisch und dies steht wahrscheinlich mit seiner Aufgabe, in noch wachsenden Pflanzenteilen als Stütze zu dienen, in Zusammenhang.

Verglichen mit den spez. mechanischen Zellen erscheint das Tragvermögen gewöhnlicher Zellulosewände vom Mark- und Rindengewebe junger Dikotylenstengel sehr gering, es wird von dem der Bastzellen um das 10—15 fache übertroffen.

Das Bauprinzip. Das außerordentliche Tragvermögen der mechanischen Zellen steht in vollständiger Harmonie mit ihrer Inanspruchnahme in der Pflanze, ja sie ist ein Beweis für ihre mechanische Leistung. Es hat sich aber noch weiter das interessante Ergebnis gezeigt, daß die Stereiden nicht regellos, sondern den Bauprinzipien der Mechanik entsprechend in den Organen der Pflanze angeordnet sind. So wie der Ingenieur bei Ausführung einer Brücke oder eines Dachstuhls das Höchstmaß von Festigkeit mit einem Minimum von Material zu erzielen versucht, so hat auch die Natur die Festigkeitszellen im Pflanzenkörper so verteilt und angeordnet, daß sie bei äußerster Sparsamkeit mit dem aufgewendeten Material ihren zugewiesenen Aufgaben aufs beste entsprechen. Zum besseren Verständnis diene folgende Betrachtung.

Denken wir uns einen geraden, an beiden Enden gestützten Balken in der Mitte belastet, so wird er sich biegen. Die obere konkave Seite wird gedrückt und verkürzt und die untere konvexe Seite wird gezogen und verlängert. Die Oberseite befindet sich in Druck-, die Unterseite in Zugspannung. Beide Spannungen sind in der obersten und in der untersten Schichte am größten, nehmen von hier gegen die Mitte des Balkens ab und werden in der Mitte selbst Null. Diese Schicht in der Mitte heißt die neutrale Schicht oder die neutrale Faser. Eine einfache Überlegung lehrt, daß der Balken oben und unten, also in seinen peripheren Schichten, am meisten in Anspruch genommen wird, die neutrale aber gar nicht. Die mittlere Schicht ist also eigentlich überflüssig. Es kommt daher, falls man mit dem festen Material sparen will, bei der Herstellung eines Balkens hauptsächlich darauf an, das feste Material an die Orte zu verlegen, die der größten

Spannung ausgesetzt sind, d. h. an die Peripherie. Dies geschieht auch in der Bautechnik; hier werden mit Vorliebe Eisenbalken, Träger genannt (Fig. 78), von I-Querschnitt, verwendet. Der obere und der untere Teil bilden die Gurtungen und das verbindende aufrechte Zwischenstück ist die Füllung. Sie übernimmt die wichtige Aufgabe, die Gurtungen im Verbande und unveränderter Stellung zu erhalten und die Gurtungen leisten, indem sie einander entgegenwirken, den Widerstand.

Da die Füllung nicht jenen großen Spannungen ausgesetzt ist wie die Gurtungen, so kann sie aus leichterem und weniger festem Material aufgebaut sein. Nach dem Gesagten leuchtet ein, 1., daß das Tragvermögen des Trägers um so stärker ist, je stärker die Gurtungen sind und 2., daß es mit dem gegenseitigen Abstand der Gurtungen wächst.

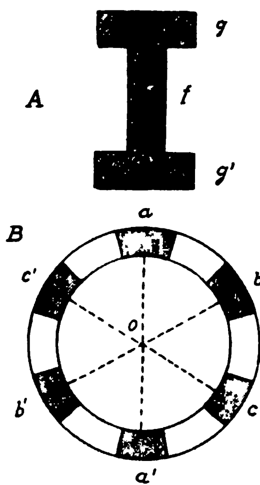


Fig. 78. A ein I-förmiger Träger, *g* obere, *g'* untere Gurtung, *f* Füllung des Trägers. B zusammengesetzter Träger aus 3 I-förmigen kombiniert; *aa'*, *bb'*, *cc'* die drei Gurtungspaare; durch *o* geht die gemeinschaftliche neutrale Achse. Nach Haberlandt.

Nach diesen theoretischen Betrachtungen wollen wir nun nachsehen, wie die Natur bei der Anordnung der mechanischen Zellen in den verschiedenen Organen verfährt.

Biegungsfeste Organe. a) Stämme. Es seien zunächst stielrunde Organe (Stengel, Blattstiele) in Betracht gezogen. Hier würde ein einziger I-Träger nicht genügen, da er nur in einer Ebene biegungsfest ist. Ein Stengel wird ja von allen Seiten auf seine Biegungsfestigkeit beansprucht, daher müssen die I-Träger im Kreise angeordnet und so verbunden sein, daß ihre neutrale Achse eine gemeinsame ist, etwa so, wie es in der Fig. 78 zum Ausdruck kommt.

Denken wir uns die Gurtungen tangential durch passendes Material fest verbunden, so können die Füllungen dann ganz wegfallen. Daraus resultiert der hohle Stengel und der Strohhalm erscheint uns nun in neuer Beleuchtung und eben deshalb in seinem Bau verständlich. Und wenn auch der Stengel gewöhnlich streng genommen nicht als Rohr anzusprechen ist, weil er vom Marke ausgefüllt wird, so ist das angedeutete Bauprinzip doch

auch hier gegeben, da ja das Mark sozusagen keine Festigkeit besitzt. Auch die mächtigen, solid gebauten Palmenstämme können bis zu einem gewissen Grade als hohle Säule betrachtet werden, weil die mit mechanischen Zellen reichlich ausgestatteten Stränge am Umfang des Stammes ungemein dicht gelagert und oft noch durch verholztes Gewebe gestützt werden, während gegen die Mitte des Stammes die Bündel sehr zerstreut liegen und durch dünnwandiges Parenchym getrennt sind.

Auch der dikotyle und gymnosperme Stamm entspricht dem erwähnten Bauprinzip. Der junge Stengel zeigt die Bündel gegen den Umfang des Stengels gerückt und in der Mitte liegt das oft recht umfangreiche Mark. Später wird bei ausdauernden Stämmen Jahr für Jahr eine neue Schicht von festen Zellen abgelagert.

Im einzelnen ergibt sich eine große Mannigfaltigkeit in der Anordnung der Stereiden, bei Monokotylen allein sind 28 Typen aufgestellt worden. Die Fig. 79 ist ein Beispiel, wie in biegungsfesten Stengeln die mechanischen Zellen zu Trägern verbunden und möglichst gegen die Peripherie verschoben sind. Die schwarzen Teile entsprechen den Stereiden.

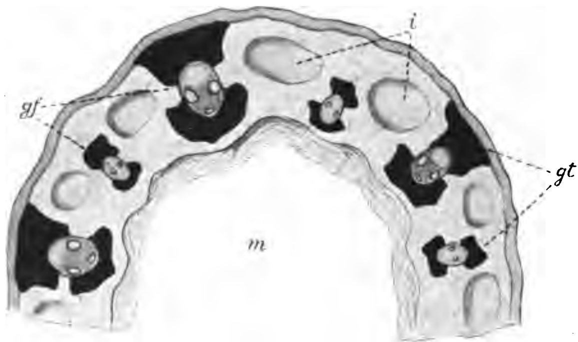


Fig. 79. Halber Stengelquerschnitt von Scirpus caespitosus. Die aus Bastfasern bestehenden Gurtungen *gt* der Gefäßbündel *gf* sind in der Fig. schwarz gehalten. *i* Lufträume, *m* von Luft erfüllte Markhöhle. Halbschematisch. Vgr. 90. Original.

b) Die Laubblätter werden von den biegenden Kräften gewöhnlich senkrecht zur Blattfläche getroffen und daher findet man auch dementsprechend die Träger senkrecht zur Oberfläche orientiert. Die Leitbündel liegen, am Querschnitt betrachtet, im Blattfleisch eingesenkt und sind oben und unten häufig von aus Bastzellen bestehenden Gurtungen umfaßt (Fig. 80).

Neben den biegenden kommen bei Blättern auch scherende Kräfte in Betracht. Gerade diese Organe werden, weil vom Winde oft gepeitscht, dem Zerreißen ganz besonders ausgesetzt. Wir

finden daher auch schubfeste Festigkeitseinrichtungen an ihnen. Die Zellwände der Epidermis, die an die Luft angrenzen, sind wesentlich stärker verdickt als die gegenüberliegenden; die zahlreichen feinen Verbindungsadern der Blattnervatur werden häufig von Stereiden begleitet. Da die Blattränder der Gefahr des Einreißens leicht ausgesetzt sind, werden die Oberhautzellen hier besonders stark verdickt und außerdem durch subepidermale Rippen von Kollenchym- oder sklerenchymatischen Zellen versteift.

Zugfeste Organe. Die im Boden eingebetteten Wurzeln sind Biegungen wenig ausgesetzt, hingegen werden sie auf Zugfestigkeit in hohem Grade in Anspruch genommen. Bei zugfesten Organen kommt es nicht so sehr auf die Anordnung, sondern auf die Querschnittsgröße der festen Elemente an. Wenn diese durch die Zugkräfte, namentlich bei großen Querschnittsflächen, gleichmäßig in Anspruch genommen werden sollen, so empfiehlt es sich, sie in einem einzigen Strang zu vereinigen. So ist es auch in der Wurzel. Die Anatomie der Wurzel ist eine ziemlich einheitliche und besonders dadurch ausgezeichnet, daß die mechanischen Elemente zu einem einzigen zentral gelegenen Strang, gewöhnlich ohne Mark, vereinigt sind. Ähnlich verhalten sich auch viele Wurzelstöcke oder Rhizome, die ähnlichen Verhältnissen wie die Wurzeln ausgesetzt sind. Aber auch manche oberirdische Organe, die in rasch fließendem Wasser leben — man denke nur an die Laichkräuter (Potamogeton) — werden gezogen und ihre Stengel erscheinen dementsprechend zugfest gebaut.

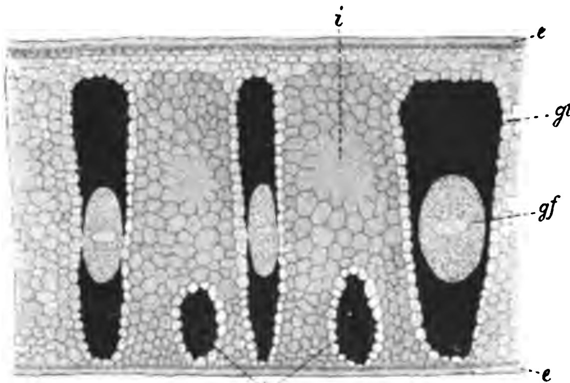


Fig. 80. Stück eines Blattquerschnittes vom neuseeländischen Flachs, Phormium tenax. Die aus Bastfasern bestehenden Gurtungen *gt* der Gefäßbündel *gf* sind in der Fig. schwarz gehalten. *f* subepidermale Rippen, *i* Luftinterzellularen, *e* Epidermis. Halbschematisch. Vgr. 40. Original.

Historisches. Seit altersher werden Bastzellen und Fibrovasalstränge mit starken Bastfaserbelegen zu Gespinnststoffen verwendet und die alten Ägypter haben bereits aus Hanffasern Seile gemacht und mithin die große Festigkeit der Bastzellen erkannt. Auch die Leinen-, Jute-, Nessel- und Ramiefaser verdanken ihre uralte Verwendung ihren hervorragend mechanischen Eigenschaften. — Die in diesem Abschnitt mitgeteilten Tatsachen beruhen zumeist auf den klassischen Forschungen des Botanikers S. Schwendener, der in seinem grundlegenden Werke „das mechanische Prinzip im anatomischen Bau der Monokotylen" (1874) zeigte, daß es in der Pflanze spezifisch mechanische Zellen verschiedener Art gibt, die sich durch eine ganz überraschende Festigkeit auszeichnen und die in den einzelnen Organen der Pflanze genau so angeordnet sind, wie es die Grundsätze der Baumechanik erfordern. Damit trat gleichzeitig ein Wendepunkt in der Geschichte der Pflanzenanatomie ein, denn während man bisher den Bau der Pflanze, wie es noch de Bary in seinem Werke „Die Anatomie der Vegetationsorgane" 1877 tat, der Hauptsache nach beschreibend behandelte, stellte Schwendener die Leistung der Zelle und Gewebe in den Vordergrund und wurde durch Feststellung des mechanischen Gewebesystems der Begründer einer neuen Richtung in der Anatomie, nämlich der „Physiologischen Anatomie". Dieser neuen Richtung hat sich unter anderen Schwendeners Schüler G. Haberlandt mit großem Erfolge zugewendet und seine im Jahre 1884 zum ersten Male erschienene „Physiologische Anatomie" bringt bereits eine nach den physiologischen Grundsätzen ausgestaltete, konsequent durchgearbeitete Anatomie der Pflanze.

Er bringt derzeit die verschiedenen Gewebe in folgende Systeme unter:

1. Das Bildungsgewebe,
2. Das Hautsystem,
3. Das mechanische System,
4. Das Absorptionssystem,
5. Das Assimilationssystem,
6. Das Leitungssystem,
7. Das Speichersystem,
8. Das Durchlüftungssystem,
9. Die Sekretionsorgane und Exkretbehälter,
10. Das Bewegungssystem.

Außerdem werden in dem genannten Buche noch die Sinnesorgane und die Einrichtungen für die Reizleitung der Pflanze speziell behandelt.

Schon diese bloße Übersicht zeigt, daß die physiologische Betrachtungsweise des inneren Baues der Pflanze sich fruchtbar erwiesen hat und es kann wohl keinem Zweifel unterliegen, daß uns die physiologische Anatomie, wenn sie sich auf das Experiment stützt und sich bei der Deutung des Baues der nötigen Vorsicht befleißigt, noch weitere wichtige Aufschlüsse bringen wird. Daher wurden, obwohl diese eben erwähnte physiologische Einteilung der Gewebe hier in dieser kleinen Anatomie nicht angenommen wurde, die physiologischen Beziehungen zum Bau der Zellen und Gewebe soweit als möglich auch trotz der Festhaltung der Gewebeeinteilung in die alte Trias: Haut-, Grund- und Stranggewebe stets berücksichtigt.

III. Die Organe.

Wo wir uns in der Natur umblicken, zeigt sich eine große Mannigfaltigkeit; auch in der äußeren Gliederung der Gewächse. Die höhere Pflanze läßt Wurzeln, Stengel, Blätter, Haare, an den Blüten den Kelch, die Blumenkrone, die Staubgefäße und den Stempel erkennen; manche Gewächse entwickeln Knollen, Zwiebeln, Stacheln, Dornen oder Ranken, kurz wir bemerken eine Fülle von verschiedenen, bestimmten Zwecken angepaßten Organen. Sind diese wirklich grundverschieden oder lassen sie sich auf einige wenige oder vielleicht sogar auf ein einziges Grundorgan zurückführen? Schon unser größter deutscher Dichter Goethe legte sich diese Frage vor und so wurde er der Begründer der Lehre von der äußeren Gliederung der Pflanze, jener wissenschaftlichen Disziplin, die er selbst Morphologie genannt hat.

In seiner berühmten Schrift „Versuch über die Metamorphose der Pflanze“ (Gotha 1790) ging er morphologischen Fragen nach, war bestrebt, die verschiedenen Organe der Blütenpflanzen auf ein Grundorgan, auf das Blatt, zurückzuführen und, wenn er dabei auch in mancher Hinsicht irrte, so konnte er doch schon die für die damalige Zeit wichtige Tatsache feststellen, daß die verschiedenen Organe der Blüte, der Kelch, die Blumenkrone, die Staubgefäße und Stempel aus metamorphosierten oder umgebildeten Blättern bestehen. Seit dieser Zeit ist die vergleichende Morphologie weiter

vorgeschritten und es ist gelungen, die große Mannigfaltigkeit, die die äußere Gliederung der Pflanze erkennen läßt, auf einige wenige Grundorgane zurückzuführen, auf die Wurzel (Rhizikom), den Stamm oder die Achse (Caulom), das Blatt (Phyllom) und das Lager (Thallom). Es sind durchwegs Vegetationsorgane und ihnen wurden die Fortpflanzungsorgane gegenübergestellt, als welche die Sporangien und die Geschlechtsorgane, Antheridien und Oogonien, bzw. Archegonien zu betrachten sind.

Mit der richtigen Einsicht, daß mit der Form oder Gestalt auch die Funktion in innigster Beziehung steht und daß sich beide in gegenseitiger Abhängigkeit befinden, mit anderen Worten, daß die Glieder der Pflanze als Werkzeuge zu betrachten sind, die ihren Leistungen aufs beste angepaßt erscheinen, ist man von dem älteren Standpunkt der Morphologie, daß für die Charakterisierung der Organe rein äußerliche Beziehungen die Haupt- und ihre Leistungen Nebensache sei, mit Recht abgekommen und sieht nunmehr das Hauptziel darin, zu zeigen, wie die Organbildung von inneren und äußeren Verhältnissen abhängig ist. Mit Rücksicht darauf spricht man heute mit Goebel anstatt von Morphologie von Organographie und, wenn der Morphologe hauptsächlich den Ursachen der Gestaltung nachgeht, auch von experimenteller oder kausaler Morphologie.

Man darf sich nicht vorstellen, daß die Grenzen zwischen den vier erwähnten Vegetationsorganen immer so scharf sind, daß sie leicht unterschieden werden können, denn die Natur arbeitet nicht mit Begriffen und Definitionen, sondern wie es Goethe bereits betont hat, mit „lebendigen Bildungen". Es gehören in der Tat oft vielfache und ausgedehnte Untersuchungen dazu, um z. B. die Blatt- oder die Stammnatur eines Organs mit Sicherheit zu erkennen. Einem Laien scheint es leicht zu sein, zu sagen, was ein Blatt oder ein Stamm ist. In Wirklichkeit ist aber diese Aufgabe sehr schwer, wenn die gegebenen Definitionen auf alle Fälle passen sollen. Tatsächlich ist es auch bisher nicht gelungen, Stamm und Blatt scharf zu definieren.

Homologe und analoge Organe. Durch Anpassung an verschiedene Lebensverhältnisse und Funktionen können die Organe auffallende Wandlungen erleiden, so daß sie vom Typus erheblich abweichen. Die Morphologie hat unter anderem die Aufgabe, ihre wahre Natur festzustellen und diese Bestrebungen haben zur Unterscheidung von homologen und analogen Gliedern geführt.

Homologe Organe können verschiedene Gestalt und Funktion haben, sind aber morphologisch und phylogenetisch gleichwertig, wie z. B. die mit verschiedenen Aufgaben betrauten und mannigfaltig gestalteten Blätter der Phanerogamen.

Analog sind morphologisch ungleichwertige, aber funktionell übereinstimmende Organe, z. B. die Ranken. Die Ranke des Weinstocks ist ein metamorphosierter Sproß, die der Leidensblume (Passiflora) ein umgebildetes Blatt, die der indianischen Kapuzinerkresse der Blattstiel, alle aber sind gegen Berührung empfindliche Greiforgane. Der Blütenstand des Gänseblümchens ist analog einer Blüte und das Volk bezeichnet daher das Körbchen der Kompositen seit jeher als Blüte.

Reduzierte Organe. Werden die Organe im Laufe der Stammesgeschichte oder Phylogenie überflüssig, so können sie entweder ganz verschwinden oder so weit rückgebildet werden, daß sie verkümmern. Die meisten Kakteen haben an den Achsen die Blätter vollständig oder nahezu ganz eingebüßt. Sie sind überflüssig geworden, weil der Stamm infolge seines Chlorophyllreichtums die Funktionen der Blätter übernommen hat. Die Tragblätter der Blüten an den Trauben der Cruciferen sind vollständig verschwunden. Staubgefäße verkümmern sehr häufig. Bei der Primulaceen- und Irideenblüte verschwand ein ganzer Staubblattkreis, bei den Labiaten eines der fünf Staubgefäße, bei Salvia abortierten sogar drei, und bei den Orchideen erhielten sich von sechs Staubgefäßen nur zwei oder ein einziges.

Die kleinen unscheinbaren Blättchen an der Kartoffelknolle, die runden, dicklichen Schuppen an dem Rhizom der Schuppenwurz (Lathraea) und die verkümmerten Wurzeln mancher echter Saprophyten sind Beispiele reduzierter Organe. Bei Lemna erscheinen die Blätter so stark reduziert, daß die ganze Pflanze, obwohl sie eine Phanerogame ist, den Eindruck eines Thallus macht. Ja die verwandte Gattung Wolffia besitzt weder eine Wurzel noch Gefäßbündel noch Spaltöffnungen und, wenn zur Blütezeit nicht ein Staubgefäß und ein Fruchtknoten erscheinen würde, würde man überhaupt nicht erkennen, daß man es mit einer Blütenpflanze zu tun hat.

Symmetrie. Pollenkörner, Sporen und Algen von Kugelform sind häufig nach allen Richtungen gleich gebaut, sie sind gleichachsig.

Bei gewissen Algen und Pilzen bildet sich eine Längsachse aus, jedoch ohne Verschiedenheit der Pole. Beispiele finden wir bei Bakterien und Desmidiaceen.

Sehr häufig sind aber die Pole verschieden, sie zeigen Polarität und man kann Spitze und Basis unterscheiden. Die Polarität kommt schon bei vielen Einzellern, bei den festsitzenden und Vegetationspunkte führenden Pflanzen vor.

An den polar gebauten Organen und Pflanzen lassen sich folgende Symmetrieverhältnisse feststellen.

a) Radiär nennen wir sie, wenn eine Pflanze oder ein Organ rings um die Längsachse annähernd gleichgebaut ist. Durch eine solche Pflanze lassen sich stets der Länge nach mehrere Symmetrieebenen legen, in bezug auf welche links und rechts Gleichheit herrscht. Beispiele: Araucaria excelsa, die Blüte des Schneeglöckchens, der Primel und die Frucht der Orange.

b) Bilateral ist das Organ, wenn nur zwei aufeinander senkrechte, longitudinale Symmetrieebenen vorhanden sind. Beispiele: Das Laubmoos Schistostega osmundacea, die Flachsprosse von Opuntia, die beblätterten Sprosse der Gräser.

c) Dorsiventral nennt man das Organ, wenn es nur eine oder keine Symmetrieebene, eine Rücken- und eine Bauchseite, welche beide voneinander verschieden sind, erkennen läßt. Beispiele: Die Laubblätter der meisten Pflanzen, der Thallus der Lebermoose, die Farnprothallien und die Labiatenblüte.

Die Fälle sind nicht immer scharf zu trennen, denn die verschiedenen Symmetrien können ineinander übergehen.

Im Anschluß sei noch der Unterscheidung von ortho- und plagiotropen Organen gedacht. Orthotrop ist ein Organ, das, unter allseits gleichen Bedingungen lotrecht, nach aufwärts oder abwärts wächst. Plagiotrop ist es, wenn es unter denselben Verhältnissen schräg oder senkrecht zur Lotlinie wächst. Orthotrope Organe sind meist radiär oder bilateral, plagiotrope häufig dorsiventral. Orthotrop sind die Hauptachsen vieler krautiger Gewächse, plagiotrop die meisten Laubblätter, die kriechenden Sprosse des Epheus, der Erdbeere u. a.

Wir haben bisher die Zelle und die Gewebe der Pflanze betrachtet, und nun wollen wir zeigen, wie nach der eben gegebenen Orientierung über Organe die einzelnen Gewebe sich zu Organen vereinigen und diese aufbauen. Es kommen hier von Vegetationsorganen in Betracht: der Thallus, die Wurzel, das Blatt und der Stamm.

1. Der Thallus.

Die höheren Pflanzen fallen durch die reiche Gliederung ihres Körpers auf. Man unterscheidet Wurzel, Blatt und Stamm. Bei den niedersten Pflanzen vermißt man diese Glieder, in vielen Fällen besteht der ganze Vegetationskörper aus einem undifferenzierten, nach Anlage und Wachstum mehr oder weniger gleichartigen Gebilde, dem Lager oder Thallus. Alle einen Thallus besitzenden Pflanzen nennt man Thallophyten oder Lagerpflanzen. Hierzu gehören: die Algen, Pilze und Flechten.

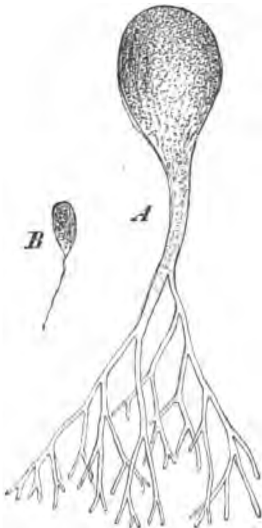


Fig. 81. Botrydium granulatum. A. Pflänzchen mittlerer Größe. Vgr. 28. B. Eine Schwärmspore. Vgr. 540. Nach Straßburger.

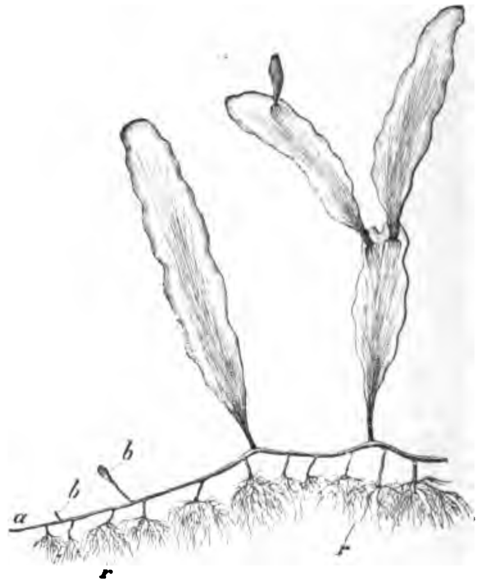


Fig. 82. Caulerpa prolifera. *a* fortwachsende Spitze der Thallusachse, *bb* junge Thalluslappen, *r* Rhizoide. ½ natürl. Größe. Nach Schenk.

Die Algen. Die Formenmannigfaltigkeit der ein- und vielzelligen Algen ist geradezu kaleidoskopartig und sie hat viel dazu beigetragen, gerade das Algenstudium so anziehend zu machen. Im allgemeinen kann man, wofern man von den Einzellern absieht, Faden-, Flächen- und körperliche Thallome von verschiedener Größe unterscheiden, von mikroskopisch kleinen bis zu jenen Riesen, wie sie uns in der Familie der Fucaceen und Laminarien entgegentreten.

Auch bei einzelligen Algen führt die Arbeitsteilung bereits

zu komplizierteren Gestalten. Sie ahmen die Teile höherer Pflanzen nach. Die Alge Botrydium granulatum gliedert sich, obwohl nur aus einer einzigen Zelle bestehend, in einen oberirdischen, grünen, blasigen Teil, der der Kohlensäure-Assimilation dient, und in einen unterirdischen, vielfach verzweigten Teil, der als Wurzel fungiert (Fig. 81).

Die einzellige Alge Caulerpa differenziert sich in Organe, die wir physiologisch als Wurzel, Stamm und Blatt ansprechen können (Fig. 82).

Oft bestehen mehrzellige Algen aus durchwegs gleichen Zellen, die sich voneinander trennen und für sich allein leben können. Solche Vereinigungen bezeichnet man als Kolonien. Mit fortschreitender Arbeitsteilung bildet sich ein Gegensatz von Spitze und Basis aus, zumal wenn damit die Bildung eines Vegetationspunktes (S. 49) Hand in Hand geht. Bei der Braunalge Cladostephus verticillatus ist der Hauptsproß von einer kuppenförmigen, verhältnismäßig großen Scheitelzelle *v* gekrönt, die sich durch Teilung immer von neuem verjüngt, nach oben durch eine Querwand eine neue Scheitelzelle abschnürt und nach unten Segmentzellen *s* entwickelt. Aus diesen entstehen Seitentriebe *st*, von denen jeder an seiner Spitze gleichfalls eine Scheitelzelle trägt (Fig. 83). Hier bildet der Haupttrieb eine Gerade, an der sich in aufsteigender Folge die Seitenzweige entwickeln.

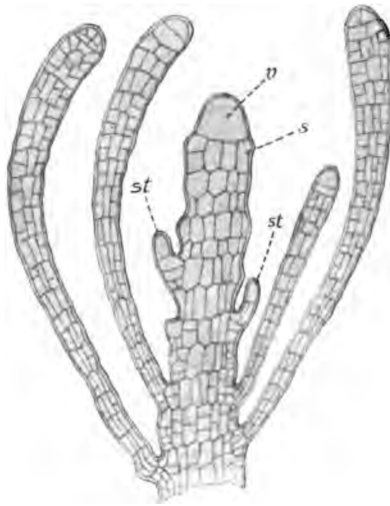


Fig. 83. Cladostephus verticillatus. Längsschnitt durch den Scheitel. *v* Scheitelzelle, *s* Segmentzellen, *st* Seitentriebe. Frei nach Oltmanns.

Manche Algen, wie Dictyota dichotoma, verzweigen sich gabelig, das heißt die Achsen teilen sich in zwei, deren Richtung von der Mutterachse abweicht.

Die Zellhaut gleicht in ihrer Zusammensetzung in vielen Fällen der der höheren Pflanzen, besteht also aus Zellulose. Nach

außen werden die Algen von einem äußerst dünnen Häutchen bedeckt, das sich mit Chlorzinkjod braun färbt, sich also wie die Kutikula verhält. Neigung zur Schleim- und Gallertbildung ist häufig, desgleichen zur Einlagerung von Kieselsäure (Diatomeen), kohlensaurem Kalk und in seltenen Fällen auch von Eisen.

Gewebe. Selbst wenn die Alge einen so komplizierten Aufbau aufweist wie bei riesigen Braunalgen, erscheint der anatomische Aufbau doch insofern ziemlich einfach, als der wesentliche Baustein doch die Parenchymzelle oder die hyphenartige Schlauchzelle (S. 93) bleibt. Von einer Sonderung in Haut-, Grund- und Stranggewebe ist noch keine Rede, wenn auch nicht übersehen werden darf, daß in einzelnen Fällen eine Andeutung von mancherlei Differenzierungen bemerkbar ist. So kann man bei Laminarien Rinde und Zentralkörper unterscheiden. Die Rinde setzt sich aus parenchymatischen, gegen die Peripherie immer kleiner werdenden Zellen und der Zentralkörper aus langgestreckten Zellen zusammen, von denen die mittleren aufgelockert sind und das Mark bilden. In diesem finden sich z. B. bei Fucus — besonders schön bei Macrocystis — eigentümliche Elemente, die man als Siebhyphen (Fig. 84) bezeichnet und die durch ihre Größe, Form und die siebartig durchlöcherten Querwände lebhaft an Siebröhren erinnern und ihnen wahrscheinlich auch funktionell ähneln, indem sie der Leitung dienen. Die Fig. 84 zeigt die Siebhyphen *sh* einer Fucusart.

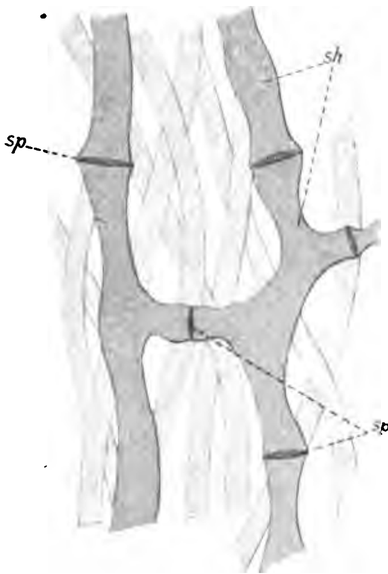


Fig. 84. Siebhyphen *sh* einer Fucus-Art. *sp* Siebplatten. Vgr. 285. Original.

Eine andere auffallende Eigentümlichkeit sind die Schleimgänge der Laminarien (Fig. 85), die als ein verzweigtes Kanalsystem die inneren Rindenteile im Laub und Stiel durchsetzen. Auch der Ringe am Querschnitt der Stiele dieser Algen sei hier noch gedacht, die in der Zahl von 8—12 und mehr das Mark umgeben und an Jahresringe erinnern, vielleicht auch solche

sind (Fig. 85). Sie kommen dadurch zustande, daß Schichten von kleinlumigen mit solchen von großlumigen Zellen regelmäßig abwechseln. Erwähnenswert erscheint auch die Tatsache, daß bei den Algen und zwar auch bei den riesigen Tangen die Luftinterzellularen vollständig fehlen. Dies deutet auf einen trägen Gaswechsel innerhalb der Pflanze.

Die Pilze. Sowie die Algen zeigen auch die Pilze eine große Mannigfaltigkeit in der Ausbildung des Thallus. Sowohl die einzelligen als auch die vielzelligen. Charakteristisch für den Aufbau des Thallus der meisten Pilze ist eine faden- oder schlauchförmige Zelle, die als Hyphe bezeichnet wird. Diese wächst an der Spitze weiter, bleibt entweder ungeteilt oder wird durch Querwände mehrzellig.

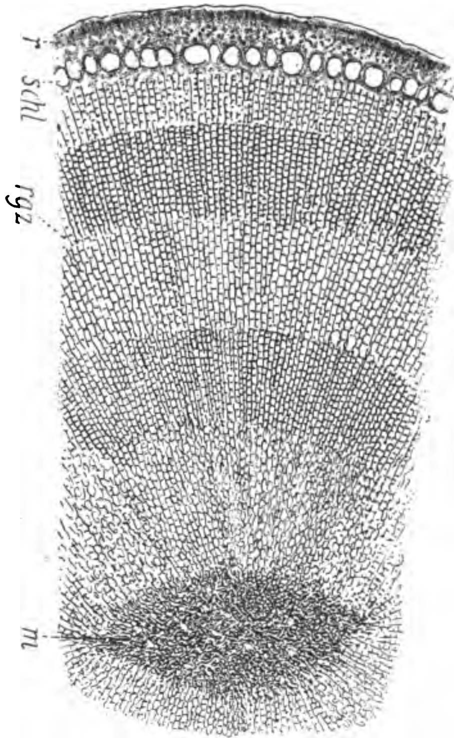


Fig. 85. Schleimgänge im Querschnitt des Stiels einer älteren Laminaria. *r* Rinde, *schl* Schleimgänge, *rgz* Ringzone, *m* Mark. Nach Oltmanns.

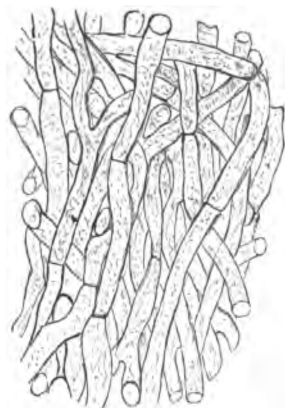
Einfachere Pilzformen wie die meisten Fadenpilze oder Hyphomyzeten bauen sich aus einer einzigen verzweigten Hyphe und die massig entwickelten Pilze, auch Schwämme genannt, aus einem größeren Komplex von miteinander verklebten oder verwachsenen Hyphen auf. Diese verlaufen entweder parallel oder vielfach durcheinander verschlungen und verflochten und bilden das, was man ein Filzgewebe (Fig. 86) zu nennen pflegt. Nicht selten macht das Pilzgewebe den Eindruck eines aus rundlichen oder vieleckigen Zellen bestehenden Parenchyms. Seine Entwicklung ist aber eine andere als die eines Parenchyms einer höheren Pflanze. Während dieses durch Tei-

lungen, die nach zwei oder drei aufeinander senkrechten Richtungen erfolgen, von Anfang an verwachsener Zellen zustande kommt, entwickelt sich das Parenchym des Pilzes aus Pilzfäden, die sich aneinander legen, verwachsen und sich durch Querwände teilen. Solche Parenchyme werden wegen ihrer abweichenden Entstehungsweise als Pseudoparenchyme bezeichnet (Fig. 86).

Die Zellhaut der Pilze ist nicht doppelbrechend und besteht vornehmlich aus Chitin.

Der Zellinhalt birgt niemals Chromatophoren, wohl aber einen, zwei oder viele Zellkerne, mitunter Kristalle von Eiweiß, häufig Kalkoxalat und Glykogen.

Myzelium. Der Thallus höherer Pilze gliedert sich in zwei Hauptteile, in das Myzelium und den Fruchtkörper. Das Myzelium dient vegetativen Aufgaben, breitet sich auf oder in dem Substrate aus, entnimmt ihm die Nahrung, befestigt den Pilz, fungiert also wie eine Wurzel. Der Fruchtkörper hingegen besorgt die Fortpflanzung. Die Myzelien sind entweder fädig oder flockig, wenn die Hyphen freibleiben oder nur zu lockeren Massen zusammentreten, oder sie sind oft strangartig oder knollig. Fädige Myzelien sind sehr häufig und ihre Hyphen entwickeln zuweilen besondere Haft- oder Saugorgane, auch Haustorien genannt, die der Befestigung und Nahrungsaufnahme angepaßt sind (vgl. S. 99). Häutige Myzelien lassen sich leicht an dem gewöhnlichen grünen Pinselschimmel, Penicillium glaucum und an Aspergillusarten beobachten, wenn sie auf einer Nährlösung wachsen. Allgemein bekannt sind die schwarzen, bis über 3 mm dicken Stränge des Hallimasch, Agaricus melleus, die zwischen Rinde und Holz leben.



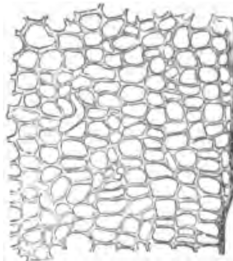


Fig. 86. Links, Filzgewebe im Längsschnitt durch den Stiel des Fruchtkörpers des Steinpilzes, Boletus edulis. Vgr. 300. Rechts, Pseudoparenchym im Längsschnitt durch das Mutterkorn. (Sklerotium von Claviceps purpurea). Vgr. 300. Nach Strasburger.

Diese Stränge bestehen aus einer dichteren Rinde und einem lockeren Mark.

Die knolligen Myzelien, gewöhnlich als Sklerotien bezeichnet, speichern Reservestoffe, gliedern sich schließlich ab und treiben nach längerer Ruhezeit Fruchtkörper. Das in den Roggenähren so häufig auftretende, hornartige, schwärzlich-violett gefärbte Sklerotium von Claviceps purpurea, das „Mutterkorn" der Apotheke, gehört hierher. Es besteht der Hauptmasse nach aus einem mit Reservestoffen gefüllten Pseudoparenchym.

Fruchtkörper. Bei den höheren Formen der Fruchtkörper, wie sie uns in den schirm-, fächer-, keulen- oder strauchartigen Hüten der Hymenomyzeten entgegentreten, begegnen wir einer besonderen Schicht, in der die Sporenbildung vor sich geht. Sie wird Fruchtschicht oder Hymenium genannt. Die an der Unterseite des Champignons vorhandenen, um den Hutstiel radiär angeordneten Leisten oder „Blätter" oder die am gleichen Orte des Herrenpilzes befindlichen Poren bilden das Hymenium. Dieses besteht aus zur Oberfläche senkrechten Hyphen, von denen ein Teil zu den Sporenträgern oder Basidien wird, ein anderer aber unfruchtbar bleibt und zu Paraphysen sich ausbildet.

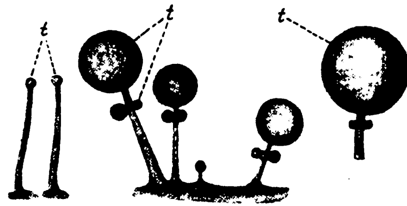


Fig. 87. Flüssigkeitsabsonderung der als Hydathoden wirkenden Cystiden des Fruchtkörpers von Coprinus radiatus. *t* ausgeschiedene Tröpfchen. Vgr. etwa 300. Frei nach Knoll.

Der fertige Fruchtkörper baut sich bei den Hutpilzen aus einem Filzgewebe oder einem Pseudoparenchym oder aus beiden auf. Sehr häufig läßt sich an solchen hochdifferenzierten Fruchtkörpern eine dichtere Rinden- und eine mehr lockere Markschicht unterscheiden. Von der Oberfläche wachsen die Hyphen oft zu Haaren oder Haarbüscheln aus.

Manche Pilze haben die Eigentümlichkeit, an dem Hymenium und an anderen Teilen des Hutes Wassertropfen auszuscheiden, und es hat sich gezeigt, daß bei den Agaricineen die zwischen den Hyphen des Hymeniums vorhandenen großen, blasigen Zellen, die Cystiden, als wasserausscheidende Elemente, als Hydathoden fungieren (Fig. 87).

Die **Flechten.** Früher hat man die Flechten für einheitliche

Lebewesen gehalten, heute weiß man, daß jede Flechte eine Vereinigung von zwei ganz verschiedenen Pflanzen darstellt, von einer Alge und einem Pilz, in der Regel einem Schlauchpilz. Man erblickt in der Flechte eine Symbiose, worunter das Zusammenleben zweier verschiedener Organismen zu gegenseitiger Förderung zu verstehen ist. Die chlorophyllhaltige Alge assimiliert Kohlensäure, erzeugt daraus organische Substanz und stellt sie dem Pilze zur Verfügung. Der Pilz hingegen schafft der Alge, indem er sie ganz umspinnt, feuchten Raum, entnimmt aus dem Substrate Wasser und Mineralsalze und führt sie der Alge zu. So arbeiten sich die beiden Symbionten in die Hände. Die Alge kann auch unabhängig vom Pilze leben und gedeihen. Der Pilz aber ist in seinem Fortkommen unter natürlichen Verhältnissen in der Regel an die Alge gebunden.

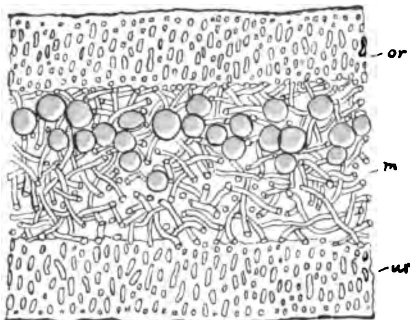


Fig. 88. Flechtenthallus von Cetraria islandica im Querschnitt. *or* Rindenschicht der Oberseite, *ur* der Unterseite, *m* Markschicht mit den grünen Algenzellen von Chlorococcum humicola. Vgr. 272. Nach Schenk.

Nach dem Gesagten nehmen an dem Aufbau des Flechtenthallus stets zwei Elemente teil: eine Alge und ein Pilz. Beide treten in eine so innige Lebensgemeinschaft, daß jede Flechte so wie jede Pflanzenart eine bestimmte, eigenartige Gestalt aufweist. Nach diesen, im einzelnen wieder höchst verschiedenen Formen kann man die Flechten einteilen in: 1. Krusten-, 2. Laub- und 3. Strauchflechten.

Wir sprechen von Krustenflechten, wenn der Thallus, einer Kruste gleich, mit seiner ganzen Oberfläche der Unterlage so fest anliegt, daß er ohne Verletzung nicht ablösbar ist; von Laubflechten, wenn der lappige Thallus auf dem Substrate nur teilweise festgewachsen ist und sich mit den Rändern leicht davon ablösen läßt; und von Strauchflechten reden wir, falls das strauchartig verzweigte Lager nur mit einem verhältnismäßig schmalen Stiele befestigt ist.

Charakteristisch ist die Anordnung der Algen oder, wie sie bei den Flechten auch genannt werden, der „Gonidien“ am Quer-

schnitte des Thallus. Sie sind entweder mehr oder minder gleichmäßig über den Querschnitt zerstreut: homöomere Flechten, oder sie sind auf eine bestimmte Schicht beschränkt: heteromere Flechten (Fig. 88). Faden- und Gallertflechten gehören zu den homöomeren, alle übrigen zu den heteromeren Flechten. Ist der Thallus typisch heteromer gebaut, so läßt sich über und unter der Gonidienschicht eine aus dichtverflochtenen Hyphen bestehende Rindenschicht und eine im Innern des Thallus befindliche lockere Markschicht unterscheiden (Fig. 88).

2. Die Wurzel.

Von den einfachsten, ja sogar einzelligen Pflanzen bis zu den höchsten finden sich Organe, die der Befestigung und gleichzeitig der Nahrungsaufnahme dienen. Bei den Thallophyten, Moosen und den Vorkeimen der Gefäßkryptogamen pflegt man solche Organe Rhizoiden und bei den höheren Pflanzen Wurzeln oder auch echte Wurzeln zu nennen. Ein wesentlicher Unterschied besteht in ihrer Leistung nicht, im physiologischen Sinne sind also beide Wurzeln. In ihrem Bau unterscheiden sie sich aber sehr scharf voneinander, denn das Rhizoid besteht nur aus einem Teil einer Zelle oder aus einer, mehreren oder vielen Zellen, jedoch ohne besondere Gewebedifferenzierung. Anders aber die echten Wurzeln. Diese haben einen komplizierten, sich aus Haut-, Grund- und Stranggewebe zusammensetzenden Bau, sind an der Spitze von einem besonderen Gewebe, der Wurzelhaube, bedeckt und sind auf den ersten Blick durch diese Merkmale von den Rhizoiden zu unterscheiden.

Rhizoiden. Wenn die Lebensweise es erfordert, kann bereits die einzellige Pflanze mit Rhizoiden versehen sein. Ich erinnere an die bereits behandelten Fälle von Botrydium (Fig. 81) und Caulerpa (Fig. 82) und an die massig entwickelten Haftorgane der Fucaceen und Laminarien.

Bei den Pilzen übernehmen häufig einzelne Myzelfäden oder Bündel von solchen die Rolle von Rhizoiden. Die schon erwähnten Haustorien der Pilze können gleichfalls als Rhizoiden angesprochen werden.

Die Wurzelhaare oder Rhizoiden der Lebermoose sind stets einzellig, bei Marchantiaceen sind sie entweder glattwandig oder zapfenartig verdickt (Fig. 33).

Die Laubmoose haben stets mehrzellige, fädige und verzweigte Rhizoiden, deren Querwände gewöhnlich in den älteren Teilen schräg zur Längsachse des Rhizoids stehen. Wenn die Äste des Laubmoosrhizoids über die Erdoberfläche hervorkommen, können sie sich zu grünen, algenähnlichen Fäden mit Chlorophyllkörnern entwickeln.

Die **echte Wurzel** wird an ihrer Spitze von der Wurzelhaube bedeckt, erzeugt als seitliche Glieder wieder Wurzeln, aber niemals Blätter und besitzt gewöhnlich ein zentral gelegenes, radiär gebautes Bündel. Es gibt nur wenige höhere Pflanzen, denen ein solches Organ fehlt: Salvinia, Wolffia, Utricularia, Ceratophyllum haben keine Wurzeln und die beiden Orchideen Epipogon und Coralliorhiza besitzen anstatt dieser einen als Wurzel dienenden Wurzelstock.

Die Wurzeln bilden gewöhnlich kein oder nur wenig Chlorophyll aus, manche ergrünen aber im Lichte sehr stark und beteiligen sich mehr oder weniger an der Kohlensäureassimilation, ja bei manchen Orchideen werden die Blätter zu kleinen, nicht grünen Schüppchen reduziert, so daß entweder die tiefgrünen Stengel und Luftwurzeln (Polyrrhiza, Angraecum) oder die Wurzeln allein die Kohlensäureassimilation übernehmen (Taeniophyllum, Podostemaceen).

W u r z e l n b e s o n d e r e r A r t. Die Wurzel erfährt, indem sie sich besonderen Aufgaben anpaßt, oft eigenartige Umwandlungen, von denen hier einige erwähnt werden sollen.

a) Gewisse Wurzeln übernehmen die Rolle von Reservestoffspeichern, verdicken sich auffallend und werden zu W u r z e l k n o l l e n. Diese unterscheiden sich sehr wohl von den Stammknollen, denn sie tragen niemals Blätter und Knospen. Hierher gehören die Wurzelknollen der Georgine (Dahlia), Maranta, gewisser Asparagusarten, der Spiraea filipendula u. a.

b) Eine rübenartige Verdickung zeigen die Hauptwurzeln der Möhre und Runkelrübe.

c) Die parasitische Lebensweise hat eine Umgestaltung der meisten Organe zur Folge, oft auch der Wurzeln. Der junge Keimling der Mistel, Viscum album, entwickelt am basalen Ende des hypokotylen Stengelgliedes ein der Wirtspflanze eng anliegendes Scheibchen, aus dem die Wurzel (Fig. 89 *w*) hervorkommt und bis in das Holz vordringt. Indem der besiedelte Zweig des Wirtes in die Dicke wächst, wird die Mistelwurzel

immer tiefer umwachsen. Gleichzeitig entspringen aus ihrer Basis grüne Seitenwurzeln, die sich in der Rinde parallel zur Oberfläche ausbreiten und als Rindenwurzeln *r* bezeichnet werden (Fig. 89). Aus diesen wachsen senkrecht in das Holz eindringende Seitenwurzeln, die **Senker** *s*, deren Längenwachstum dem Dickenwachstum des Nährastes folgt. Die Senker werden häufig durch das Dickenwachstum des Nährzweiges von den Rindenwurzeln abgetrennt, sterben daher ab und hinterlassen entsprechende, das Holz durchsetzende Kanäle. Vergleichende Untersuchungen ergaben, daß die Senker als echte Wurzeln zu betrachten sind, die allerdings allerlei Veränderungen erlitten haben.

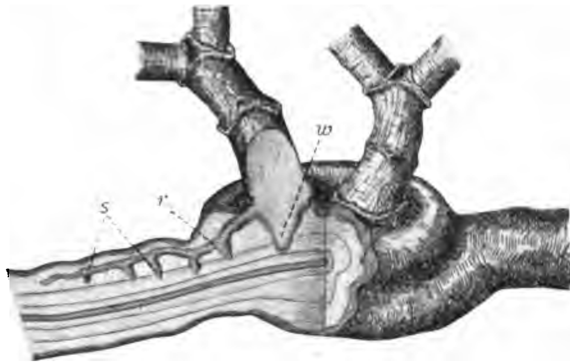


Fig. 89. Mistelsproß (Viscum album), auf einem Föhrenzweig. *w* Mistelwurzel, *r* Rindenwurzel, *s* Senker. Natürl. Größe. Original.

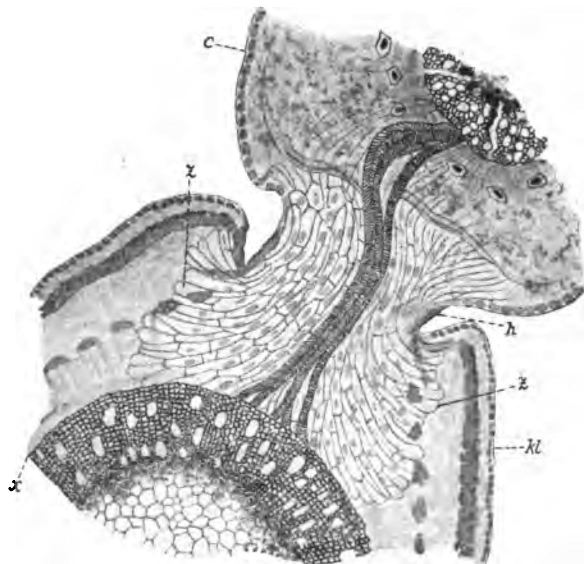


Fig. 90. Haustorium *h* der Kleeseide, Cuscuta sp. *c* auf dem Stengel *kl* des Klees, Trifolium pratense. *h* Saugfortsatz mit schlauchartigen Zellen *z*, die im Gewebe des Wirtes bis zum Holzkörper *x* reichen. Vgr. 60. Original.

Die auf verschiedenen Pflanzen parasitisch lebende Kleeseide oder

Cuscuta entwickelt am Stengel Saugorgane oder Haustorien (Fig. 90). Dieses warzenförmige Organ umfaßt, einem Sattel gleich, die Stengel der Wirtspflanze *kl*, dringt mit einem Saugfortsatz *h* in diesen ein und geht schließlich in pinselartig ausstrahlende, schlauchartige Zellen *z* über, die bis zum Holze *x* reichen und die Aussaugung des Wirtes besorgen. Ob die Kleeseide-Haustorien als metamorphosierte Wurzeln zu betrachten sind, wofür die tief

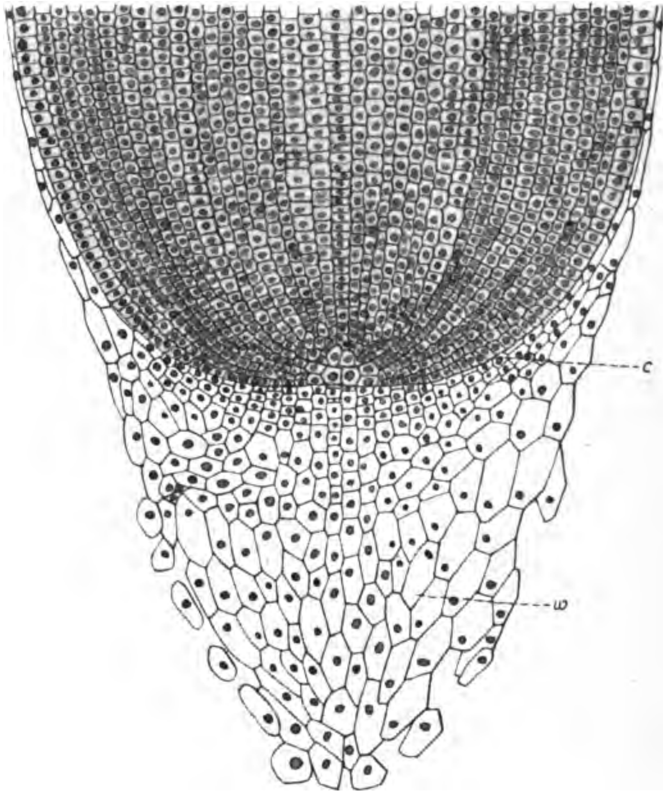


Fig. 91. Wurzelspitze vom Mais, Zea mais im medianen Längsschnitt. *w* Wurzelhaube oder Kalyptra, *c* Kalyptrogen. Vgr. 115. Original.

im Inneren erfolgende Entstehung des Saugfortsatzes und die Funktion spricht, oder als bloße, einer bestimmten Aufgabe angepaßte Emergenzen, bleibt zweifelhaft.

Bau. Im großen und ganzen zeigt sich im anatomischen Aufbau der Wurzel eine große Einheitlichkeit. Sie ist gegeben durch die an der Spitze fast ausnahmslos auftretende Wurzel-

haube oder Kalyptra und das zum Zentralzylinder vereinigte Stranggewebe. Die Fig. 91 zeigt einen medianen Längsschnitt durch die Wurzel von Mais, Zea mais. Die Spitze wird von einem Vegetationskegel gebildet, der aber nicht wie beim Stamm nackt endet, sondern von einem besonderen Schutzgewebe, der Wurzelhaube *w*, derart bedeckt wird, daß die Spitze des Vegetationsscheitels unterhalb der Wurzelhaube zu liegen kommt. Die Kalyptra besteht aus parenchymatischen Zellen, die am Umfange verschleimen, aus dem Verbande gehen und abgestoßen werden. Durch die Verschleimung wird die Wurzelspitze sehr schlüpfrig und vermag sich dann im Boden zwischen den Erdteilchen durchzudrängen. Bei manchen Pflanzen, z. B. bei den auf Wassergläsern gezogenen Hyazinthen oder bei den mächtigen Luftwurzeln von Pandanus sieht man die Wurzelhauben deutlich mit freiem Auge. — Die meisten farnartigen Gewächse oder Pteridophyten wachsen mit einer Scheitelzelle von Gestalt einer dreiseitigen Pyramide und die Blütenpflanzen mit einer Gruppe von Meristemzellen, die in mehreren Schichten (Initialgruppen) angeordnet sein können. Bei den Pteridophyten entsteht die Wurzelhaube durch fortgesetzte Teilung aus der Scheitelzelle. Bei Gramineen, Cyperaceen, Juncaceen und Cannaceen entwickelt sich die Wurzelhaube aus einem eigenen Bildungsgewebe, dem Kalyptrogen *c* (Fig. 91). Bei anderen Blütenpflanzen liefern junge Oberhautzellen oder diese und sonstige Meristemzellen des Vegetationspunktes die Wurzelhaube. Betrachten wir nun den Querschnitt der Wurzel in Fig. 92, so finden wir sie nach außen begrenzt von der Epidermis *E*; gleich darunter liegt die Exodermis *Ed*, dann folgt nach innen das aus zahlreichen Schichten bestehende Rindenparenchym *P*, die Endodermis *S*, der Perizykel und endlich in der Mitte der Zentralzylinder, bestehend aus radiären Bündeln.

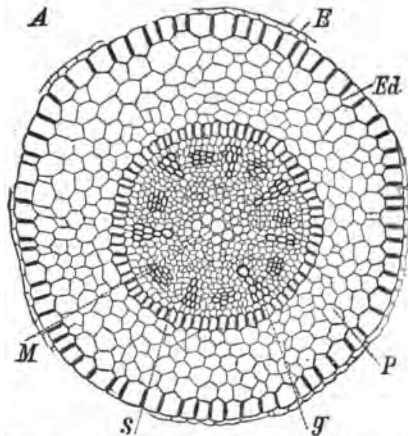


Fig. 92. Querschnitt durch die Luftwurzel von Hartwegia comosa (Liliaceae). Vgr. 100. *E* Reste der Epidermis, *Ed* Exodermis, *P* Rindenparenchym, *S* Endodermis, *g* Gefäße des Xylems, *M* Mark. Nach Wiesner.

Die Epidermis zeigt, entsprechend ihrer Aufgabe, Wasser aufzunehmen, einen von der Oberhaut oberirdischer Organe abweichenden Bau. Ihre Wände sind zart, dünn und nicht oder fast gar nicht kutikularisiert. Dasselbe gilt auch von den Wurzelhaaren Fig. 60, die in geringer Entfernung von der Wurzelspitze aus den Epidermiszellen hervorwachsen (S. 57). Spaltöffnungen fehlen.

Die Wurzelrinde umfaßt die Endo- und Exodermis und die zahlreichen Lagen von Parenchymzellen. — Die Endodermis, die innerste Schichte der Wurzelrinde, hebt sich von der Umgebung als eine einzige Lage von Zellen scharf ab (Fig. 93). Ihre Zellen

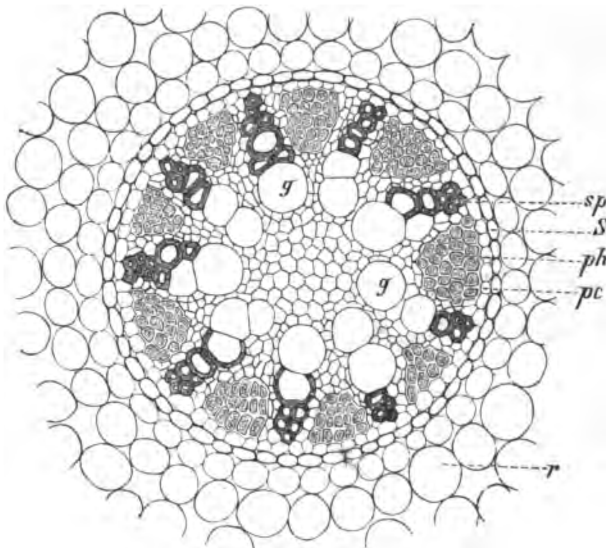


Fig. 93. Querschnitt durch den zentralen Teil einer jungen Wurzel von Acorus calamus. *r* Rindenparenchym, *S* Endodermis, *pc* Perizykel, *ph* Phloëm, *sp* Spiralgefäße, *g* noch nicht ausgebildete innerste Gefäße. Nach Sachs.

sind prismatisch, oft recht langgestreckt und schließen lückenlos aneinander. In der jungen Wurzel sind sie zunächst noch nicht verkorkt, doch wird ein an den radialen Wänden vorhandener Streifen chemisch, vielleicht korkartig verändert, der sich an radialen Wänden als welliges Band, am Querschnitt aber als ein dunkler Punkt oder Streifen verrät, und gewöhnlich als Casparyscher Punkt bezeichnet wird. Mit fortschreitendem Alter kann schließlich die ganze Membran ringsum verkorken und auch verholzen. Die Verdickung der Endodermiszellen am Querschnitt ist sehr

charakteristisch, sie erfolgt entweder ringsum gleichmäßig, wie bei den sogenannten O-Scheiden, oder nur an den Radial- und Innenwänden wie bei den C-Scheiden (Fig. 94).

Durch die Verkorkung wird die ganze als Endodermis bezeichnete Scheide fast undurchlässig. Sie hat ja auch in erster Linie die Aufgabe, die Stoffleitung auf bestimmte Bahnen zu beschränken und unzeitgemäßen Austritt von Stoffen aus dem Gefäßbündel zu verhindern. In zweiter Linie obliegt ihr auch die Aufgabe, die umliegenden Gewebe mechanisch zu schützen, weshalb sie auch Schutzscheide genannt wird.

Der Stoffaustausch zwischen dem Zentralzylinder und dem Rindengewebe darf aber nicht gänzlich unterbunden werden und deshalb liegen zwischen den verdickten Endodermiszellen dünnwandige, an den Tangentialwänden unverkorkte, plasmareiche Zellen, die Durchlaßzellen, die einen teilweisen Stoffaustausch ermöglichen (Fig. 94 *f*). Sie liegen im Querschnitte stets vor dem Holzteile und können so ihrer Aufgabe, den Saftaustausch zwischen dem Gefäßteil und der Rinde zu besorgen, um so besser dienen.

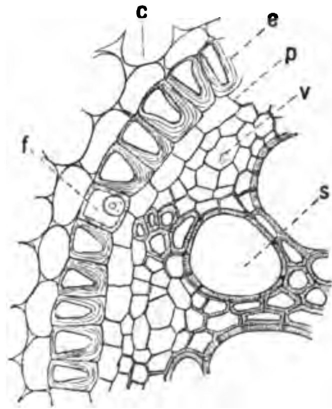


Fig. 94. Teil eines Querschnittes durch die Wurzel von Iris florentina. *c* primäre Rinde, *e* Endodermis mit einseitiger Verdickung der Zellen, *f* Durchlaßzelle, *p* Perizykel, *v* Phloëm, *s* Xylem. Vgr. 240. Nach Strasburger.

Die Exodermis. Die äußerste Rindenzellschicht, die an die Epidermis unmittelbar angrenzt, kann sich gleichfalls zu einer Scheide entwickeln, die in vielen oder allen Punkten mit der Endodermis übereinstimmt. Die Zellen haben ähnliche Gestalt, sie können den Casparyschen Streifen, Verkorkung und Verholzung aufweisen und auch Durchlaßzellen enthalten. Sobald die Oberhaut mit den Wurzelhaaren abstirbt und abgeworfen wird, tritt die Exodermis an ihre Stelle.

Der Perizykel oder das Perikambium ist jene meist einschichtige, an die Endodermis angrenzende Lage von zartwandigen Parenchymzellen, aus der die Seitenwurzeln der Phanerogamen entspringen. Bezüglich des Ortes der Entstehung unterscheiden sich die Seitenwurzeln von den Seitensprossen der Stengel in der Regel

wesentlich. Die Nebenwurzeln entstehen stets tief im Innern des Wurzelkörpers, im Perizykel, ohne Beteiligung der darüberliegenden äußeren Zellen, die von der hervorbrechenden Wurzel einfach mechanisch beiseite geschoben werden, während die an jungen Teilen der Mutterpflanze sich entwickelnden Sproßanlagen äußerlich aus mehr oberflächlich gelegenen Zellen entspringen. Man sagt, die Seitenwurzeln entstehen endogen und die Seitensprosse exogen (Fig. 95).

Die Verzweigung der Wurzel setzt in einiger Entfernung von der Spitze ein, wo die Wurzel schon in Dauergewebe übergegangen ist, und zwar gegen die Spitze fortschreitend. Da die Seitenwurzeln entweder vor den Holzteilen des Zentralzylinders entspringen oder zwischen den Xylem- und Phloëmteilen, so bilden sie an der Mutterwurzel gerade Reihen. An der Wurzel von Phaseolus multiflorus z. B. vier.

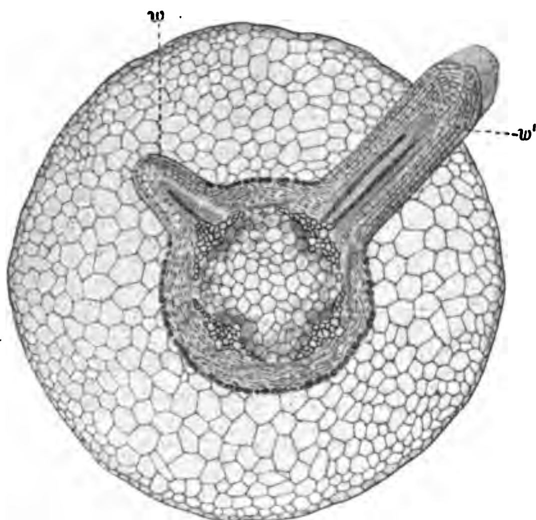


Fig. 95. Endogene Entstehung der Nebenwurzeln von Phaseolus multiflorus im Querschnitt. *w* und *w*¹ junge Nebenwurzeln. Vgr. 30. Original.

Durch Gabelung des Vegetationskegels kann auch eine dichotome Verzweigung der Wurzel eintreten. Dies ist für die Bärlappe oder Lycopodinae charakteristisch.

Das radiäre Bündel des Zentralzylinders wurde vom Standpunkte seines Baues und seiner Funktion bereits früher (S. 73 u. 84) besprochen. Ergänzend sei nur noch erwähnt, daß die Xyleme in der Keimwurzel der Gräser unter Ausbildung eines besonders großen Gefäßes in der Mitte zusammenstoßen oder daß die Mitte des Zentralzylinders von einem Baststrange oder selten von einem Markparenchym eingenommen werden kann (Fig. 92).

Dickenwachstum. Alles, was bisher über den anatomischen Bau der Wurzel gesagt wurde, bezog sich auf das primäre Stadium.

Viele Wurzeln verbleiben zeitlebens auf dieser Entwicklungsstufe, aber andere erleiden, insbesondere durch ihre Fähigkeit, in die Dicke zu wachsen, wesentliche Veränderungen, wie sich aus folgendem ergibt.

Die Wurzeln der Pteridophyten und meisten Monokotylen vermögen nicht in die Dicke zu wachsen, im Gegensatz zu denen vieler Gymnospermen und Dikotylen. Wenn eine dikotyle Wurzel (Fig. 96) sich anschickt, sekundär in die Dicke zu wachsen, so bilden sich unter den Phloëmen durch Teilung der Parenchymzellen Kambiumstreifen aus, die nach außen Phloëm und nach innen Holz bilden. Es entsteht so ein Kreis von anfänglich noch getrennten kollateralen Bündeln, zwischen denen noch die primären Xylemstrahlen liegen. Schließlich vereinigen sich die Kambiumstreifen zu einem geschlossenen Kambiumring, der nun, indem er nach außen Bast und nach innen Holz erzeugt, das Dickenwachstum in ganz derselben Weise besorgt wie im dikotylen Stamm. Daher ist eine ältere, dicke Wurzel von einem Stamm schwer zu unterscheiden und die Wurzelnatur eigentlich nur durch den Nachweis der primären Gefäßteile in der Nähe des Zentrums zu erbringen.

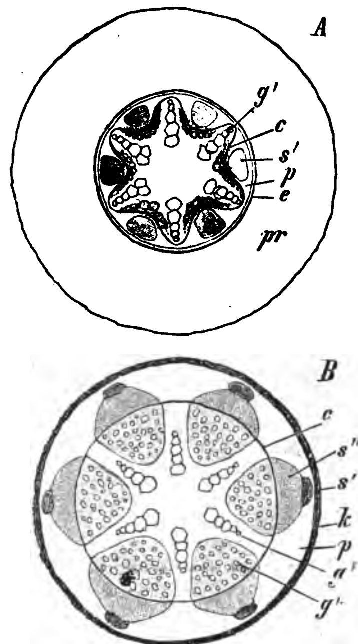


Fig. 96. Schema des Dickenwachstums einer krautigen dikotylen Wurzel. A primärer Zustand der (jungen) Wurzel, B sekundärer Zustand nach Abwerfung der primären Rinde. *pr* primäre Rinde, *e* Endodermis, *p* Perizykel, *s'* primäres Phloëm, *c* Kambium, *g'* primäres Holz, *s''* sekundäres Phloëm, *g''* sekundäres Holz, *k* Periderm. Nach Strasburger.

Wurzelhülle. Die epiphytisch lebenden Orchideen und manche Araceen besitzen Luftwurzeln, die sich durch ihre schneeweiße Farbe auszeichnen. Sie verdanken sie einem eigenartigen Gewebe, das einer mehrschichtigen Epidermis entspricht und als Wurzelhülle oder velamen radicum bezeichnet wird (Fig. 97). Es besteht aus 2—18 Zellagen. Die Zellen sind bald kurz, bald ge-

streckt, häufig schraubig oder netzartig verdickt, verholzt, luft- oder wasserhaltig und tot. Ihre Wände erscheinen oft von Löchern durchsetzt. Alle diese Einzelheiten stehen mit der Funktion dieses sonderbaren Gewebes in Beziehung. Taucht man eine solche Wurzel ins Wasser ein, so dringt das Wasser wie in einen Badeschwamm kapillar ein, die Luft wird aus den Zellen verdrängt und gleichzeitig wird die Wurzel, weil jetzt das chlorophyllhaltige Rindengewebe durchschimmert, grün. Es wird sogar behauptet, daß die Wurzelhülle imstande sei, Wasserdampf zu kondensieren und so für die Wurzel nutzbar zu machen, doch fehlen dafür noch die Beweise.

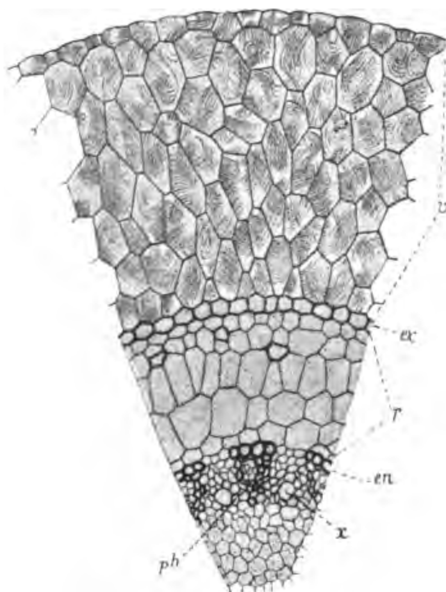


Fig. 97. [Stück eines Luftwurzelquerschnittes der Orchidee Cyrtochilum bictoniense. *v* Wurzelhülle, ihre Zellen schraubig verdickt, *ex* Exodermis, *r* Rindenparenchym, *en* Endodermis, darunter die radiären Bündel mit Xylem *x* und Phloëm *ph*. Vgr. 70. Original.

Unmittelbar angrenzend an die Wurzelhülle liegt die Exodermis, typisch gebaut mit verkorkten, für Wasser wenig durchlässigen Zellen, die zur Zeit der Wassernot die Wurzel vor dem Vertrocknen schützen, und mit Durchlaßzellen für den Wassereintritt.

3. Das Blatt.

Die große Verschiedenheit, die uns in der Blattgestalt überall entgegentritt und die unter anderem als eine Anpassung an verschiedene äußere Verhältnisse anzusehen ist, tritt auch im feineren Bau der Blätter zutage. Es wird hier, indem wir von den niedersten zu den höchsten Pflanzen aufwärts schreiten, genügen, einige wenige der wichtigsten Typen hervorzuheben.

Moose. Den ersten echten Blättern begegnen wir bei den beblätterten Lebermoosen. Hier stellt das Blatt im einfachsten

Falle eine einzige Lage von chlorophyllhaltigen Zellen dar. Schon dieses Blatt von idealer Einfachheit kann den beiden Hauptaufgaben eines Blattes, die Kohlensäure-Assimilation und die Transpiration zu vermitteln, genügen.

Bei den Blättern der Laubmoose kommen schon Fortschritte im Aufbau hinzu. Das Blatt zeigt einen aus mehreren Lagen von langgestreckten, dickwandigeren Zellen bestehenden Mittelnerv, nicht selten auch einen Randnerv und Blattzähne, die die Versteifung des Blattes wesentlich erhöhen. Auch läßt sich schon bei den Moosen beobachten, wie Bau und Funktion des Blattes in innigster Beziehung stehen. Ein ausgezeichnetes Beispiel hierfür ist das Blatt der Torfmoose (Fig. 98). Dieses besteht aus einer einzigen Lage von zweierlei Zellen. Die einen, wir wollen sie die Kapillarzellen *k* nennen, sind verhältnismäßig sehr groß, schlauchförmig, ring- oder schraubenartig verdickt, stellenweise mit großen offenen Poren *p* versehen, ohne plasmatischen Inhalt und daher tot. Die anderen, die Chlorophyllzellen *cl*, sind schmal, langgestreckt, plasma- und chlorophyllhaltig. Sie schließen sich zu einem Netz zusammen, dessen Maschen durch die Kapillarzellen ausgefüllt werden. Der Umfang des Stengels wird gleichfalls von Kapillarzellen gebildet. Da die Chlorophyllzellen nur einen geringen Bruchteil des Blattvolumens ausmachen, die wasserführenden Zellen aber vorherrschen, so wird die bleichgrüne Farbe der Torfmoose dadurch verständlich. Die Torfmoose spielen in den verschiedenen Mooren eine wichtige Rolle, indem sie mit den durchlochten Kapillarzellen sich kapillar mit Wasser vollsaugen, es durch ihre Oberfläche verdampfen und so zur allmählichen Aus-

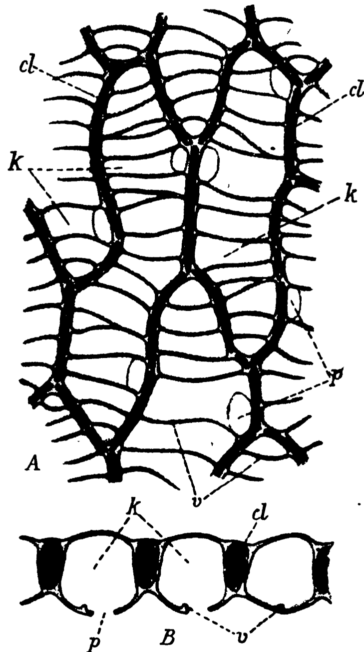


Fig. 98. Blattstücke vom Torfmoos, Sphagnum *sp*. A Flächenansicht, B Querschnitt. *k* Kapillarzellen mit Verdickungsleisten *v*, *p* Poren und *cl* Chlorophyllzellen. Vgr. 150. Original.

trocknung der Torfmoore beitragen. Das Blatt von dem Laubmoos Leucobryum setzt sich gleichfalls aus Chlorophyll- und Kapillarzellen zusammen; die letzteren sind durch weite Löcher miteinander verbunden und auch nach außen geöffnet.

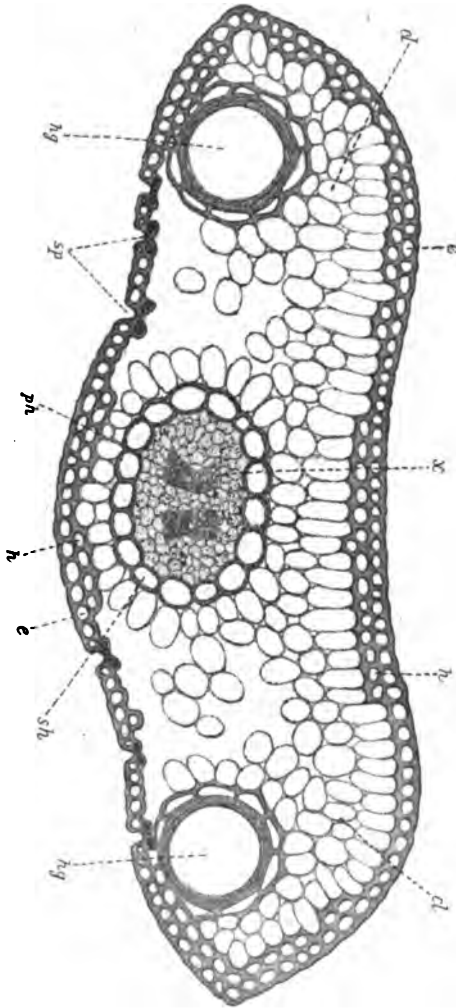


Fig. 99. Tannenblatt, Abies pectinata, im Querschnitt. *e* Epidermis, unten mit Spaltöffnungen *sp*, *h* sklerenchymatisches Hypoderma. In der Mitte der von einer Gefäßbündelscheide *sh* umsäumte Doppelnerv, oben mit Xylem *x*, unten mit Phloëm *ph*, rechts und links je ein Harzgang *hg*. Vgr. 60. Original.

Farne. Auch hier zeigt sich eine große Mannigfaltigkeit im Bau. Welch großer Unterschied zwischen dem zarten, einschichtigen Blatt von Hymenophyllum und dem großen, meterlangen Fiederblatt eines Baumfarns, z. B. einer Alsophila! Im allgemeinen zeigt sich im Vergleich zu den verhältnismäßig einfach gebauten Moosblättern im Aufbau der Farnblätter ein großer Fortschritt. Wir begegnen hier zum ersten Male Haut-, Grund- und Stranggewebe und damit ist ein viel verwickelterer Bau von selbst gegeben. Bezeichnend ist auch die Tatsache, daß die Oberhaut, obwohl sonst als solche ausgezeichnet differenziert, im Gegensatz zu der Epidermis der Blütenpflanzen nicht bloß in den Schließzellen der Spaltöffnungen, sondern auch in den Epidermiszellen reichlich Chlorophyll führt. Nicht minder charakteristisch für die Farne ist

die eigenartige, oft sehr vollkommene Verzweigung der Nerven, die in ihrem Verlaufe so gesetzmäßig ist, daß sie für die Erkennung der Art wichtige Dienste leisten kann.

Nadelhölzer. Die meisten Koniferen sind wintergrün und damit im Zusammenhange steht eine Reihe von anatomischen Einrichtungen des Blattes, die eben nur zu verstehen sind, wenn man die Lebensbedingungen der Nadelhölzer in Betracht zieht. Ein Blatt, das der Winterkälte ausgesetzt ist, darf nicht stark transpirieren, da ja die Wurzeln im kalten Boden viel weniger Wasser osmotisch aufzunehmen vermögen als im warmen. Daher wird die Oberfläche des Blattes eingeschränkt, es erhält Nadelform. Aber wie aus der Fig. 99 zu ersehen ist, treten auch im feineren Bau des Blattes Einrichtungen zutage, die darauf hinauslaufen, die Transpiration herabzusetzen. Das Blatt der Tanne ist nach außen von einer Epidermis *e* abgeschlossen, die aus sehr verdickten Zellen besteht. Die Oberhaut selbst wird noch durch ein sklerenchymatisch entwickeltes Hypoderma *h* verstärkt. Dazu kommt, daß die Spaltöffnungen *sp* in der Epidermis vertieft eingesenkt und überdies größtenteils noch mit Wachs verstopft sind, das aber in der Zeichnung weggelassen wurde. Alle diese Einrichtungen dienen als Schutz gegen allzu starke Transpiration. In der Mitte der Nadel läuft ein doppelteiliger Mittelnerv, der oben Xylem, unten Phloëm enthält. Er ist um den Siebteil von einem aus parenchymatischen Tracheiden bestehenden Gewebe, dem Transfusionsgewebe, gleichsam zum Ersatz der feineren Verzweigung des Blattes, umsäumt. Zwischen dem Hypoderma und der Gefäßbündelscheide liegt das Chlorophyllparenchym *chl*, an der Oberseite etwas gestreckt, an der Unterseite mehr schwammig. Rechts und links erblickt man

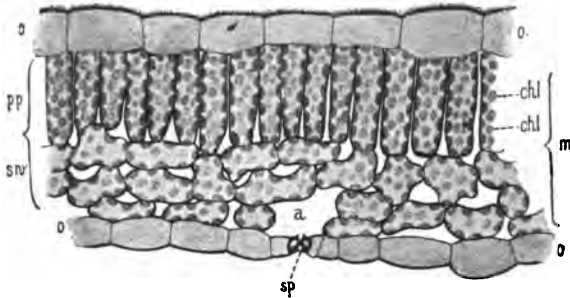


Fig. 100. Blattquerschnitt von der indianischen Kapuzinerkresse, Tropaeolum majus. *o* Oberhaut, *sp* Spaltöffnung mit Atemhöhle *a*, Mesophyll *m*, bestehend aus dem Palisadenparenchym *pp* und dem Schwammparenchym *sw*. Die Zellen des Mesophylls enthalten reichlich Chlorophyllkörner *chl*. Vgr. 250. Original.

je einen Harzgang *hg*, aus einem Kranz von dünnwandigen Zellen bestehend, die nach dem Inneren des Ganges Harz absondern und bei gewissen Nadelhölzern (Föhre) nach außen von einer schützenden, mechanischen Scheide umfaßt werden.

Mono- und Dikotyle. Das dikotyle Blatt (Fig. 100) zeigt sehr häufig eine mehr oder minder scharfe Scheidung des Grundgewebes oder Mesophylls in ein an die Oberseite des Blattes stoßendes Palisadenparenchym und ein darunter liegendes Schwammparenchym. Das erstere baut sich aus ein bis mehreren Schichten palisadenartiger, prismatischer oder zylindrischer Zellen auf. Sie sind dicht

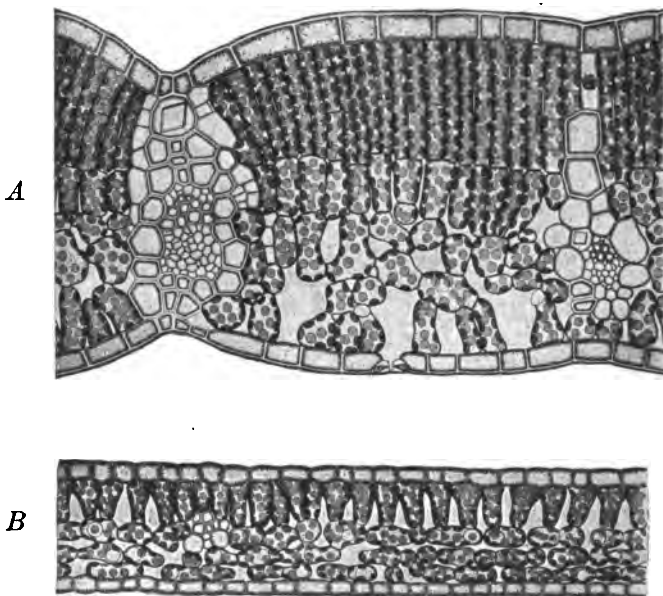


Fig. 101. Querschnitte durch Blätter der Buche, Fagus silvatica. A Sonnenblatt, B Schattenblatt. Vgr. 280. Nach Kny.

gefügt, sehr chlorophyllreich und senkrecht zur Oberfläche des Blattes gestellt. Das Schwammparenchym hingegen setzt sich aus rundlichen oder verzweigten Zellen mit reichlich dazwischenliegenden Luftinterzellularen zusammen, wodurch es ein schwammiges Gefüge erhält. Da das Schwammparenchym viel weniger Chlorophyll und mehr Luft als das Palisadenparenchym enthält, so erscheint die Unterseite des Blattes in der Regel heller grün gefärbt als die Oberseite. Der Gegensatz zwischen oben und unten des dor-

siventralen Blattes gibt sich auch in der Epidermis insofern zu erkennen, als die obere Oberhaut gewöhnlich keine oder viel weniger Spaltöffnungen enthält, die untere dagegen sehr viele. (Vgl. S. 54.)

Das Palisadenparenchym ist dem Lichte zugewendet und dient hauptsächlich der Kohlensäureassimilation, während das Schwammparenchym mit seinen vielen Luftgängen vornehmlich dem Gasaustausch und der Transpiration obliegt. Je zahlreicher die Interzellularen, desto größer die Verdunstung.

Die quantitative Ausbildung des Palisaden- und Schwammparenchyms hängt bis zu einem gewissen Grade von äußeren Bedingungen ab. Intensives Licht und Trockenheit begünstigen gewöhnlich die Ausbildung des Palisadenparenchyms und beeinträchtigen die des Schwammparenchyms; Feuchtigkeit und Schatten wirken im entgegengesetzten Sinne. Selbst bei verschiedenen Individuen derselben Art, ja sogar bei den dem direkten Sonnenlichte ausgesetzten und den durch diese beschatteten Blättern desselben Individuums kann sich der Bau des Sonnen- und Schattenblattes verschieden gestalten, wie aus der Fig. 101 deutlich hervorgeht. *A*, das Sonnenblatt der Rotbuche, ist bedeutend dicker und hat ein mächtigeres Palisadenparenchym als das Schattenblatt *B*. — Eine eigentümliche Art des Palisadenparenchyms kommt dadurch zustande, daß von der Zellwand in das Innere der Zellen Leisten oder Falten (Fig. 102 *p*) mehr oder weniger vordringen und den Zellraum dadurch in mehrere unvollständige Kammern teilen. Dadurch wird die innere Oberfläche dieser als „Armpalisaden" bezeichneten Zellen bedeutend vermehrt und Platz für mehr Chlorophyllkörner geschaffen (Fig. 102). Solche Palisaden finden sich bei Koniferen, Ranunculaceen und zahlreichen anderen Familien, sowie auch bei den Gattungen Sambucus, Phyllanthus u. a.

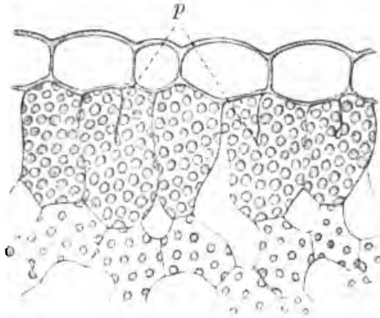


Fig. 102. Teil eines Blattquerschnittes von Sambucus nigra. Oben die Epidermis, darunter Armpalisaden mit Hautleisten *p*. Vgr. 285. Original.

Es gibt auch flache Blätter, die beiderseits ziemlich gleich gebaut sind und deshalb i s o l a t e r a l genannt werden. Die Blätter

der Schwertlilie (Iris) und der bekannten Kompaßpflanze (Lactuca scariola) zeigen isolateralen Blattbau. Dieser stellt eine Anpassung an sehr stark besonnte Standorte dar. Indem sich die Blätter der Schwertlilie mit ihrer Blattfläche ziemlich senkrecht stellen und dabei eine Kante gegen den Stengel kehren, kann man keine Ober- und Unterseite, sondern nur eine rechte und linke Flanke unterscheiden. Steht die Sonne hoch, so geht das allzustarke Licht an der Blattfläche sozusagen vorüber und das Blatt weicht so schädlicher Lichtintensität aus. Bei einem also gelagerten Blatte wirken die äußeren Bedingungen wie Licht und Feuchtigkeit auf beide Seiten in gleicher Weise ein und daher sind auch die Blätter nicht dorsiventral, sondern symmetrisch gebaut.

Hypoderma. Bei zahlreichen Blättern finden wir unmittelbar unter der Epidermis Gewebe verschiedener Art, die die Oberhaut in ihrer Funktion unterstützen. Diese unter dem Namen Hypoderma zusammengefaßten Gewebe können entweder sklerenchymatischer, bastfaserähnlicher oder parenchymatischer Natur sein.

a) Schon bei der Besprechung des Koniferenblattes wurde erwähnt, daß sich an die Epidermis ein Sklerenchymgewebe anlegt und hier als Transpirationsschutz wirkt. Auch bei zahlreichen anderen Nadelhölzern, Bromeliaceen und Gräsern, ferner bei vielen Gewächsen trockener Standorte tritt ein sklerenchymatisches Hypoderma nicht selten auf, so bei vielen Gräsern und Halbgräsern in Form von subepidermalen Bastrippen. —

b) Blätter von Pflanzen trockener und feuchter Standorte oder von Epiphyten bilden mitunter ein wasserspeicherndes Gewebe, ein Wassergewebe, aus. Dieses besteht aus zarten, parenchymatischen, sehr wasserreichen Zellen. Das Wassergewebe kann entweder ein äußeres oder ein inneres sein. Ein äußeres, wenn es sich als Hypoderma an die Epidermis anschließt oder aus dieser hervorgeht (Tradescantien, Begonien, gewisse Orchideen), ein inneres, wenn es sich im Innern des Blattes vorfindet (Aloë, Agave, Kakteen).

Die Fig. 103 stellt ein typisches äußeres Wassergewebe im Blattquerschnitt einer Peperomia dar. Das Blatt *A* besteht aus der Epidermis *e*, dem vielschichtigen Wassergewebe *w*, dem dunkelgehaltenen, grünen Palisadenparenchym *p*, dem Schwammparenchym *s* und der unteren Epidermis *e'*. Schneidet man ein Peperomiablatt ab, läßt es einige Tage liegen und transpirieren, so zeigt sich auf Querschnitten, daß insbesondere die Wassergewebszellen, indem

sie an das grüne Gewebe Wasser abgeben und infolgedessen ihre Seitenwände wellig verbiegen, sichtlich schrumpfen (Fig. 103 *B*).

Die Epidermis ist nicht bloß ein Gewebe des Schutzes, sondern wirkt auch als Wasserspeicher oder Wassermantel, zumal wenn sie, entgegen der Regel, nicht ein-, sondern zwei- oder mehrschichtig ist: manche Begonia-, Tradescantia- und Ficusarten.

Innere Wassergewebe finden sich bei sukkulenten oder Saftpflanzen recht häufig. Das Blatt der Aloë- und Mesembryanthemumarten besteht im Innern des Gefäßbündelkreises großenteils aus Wassergewebe.

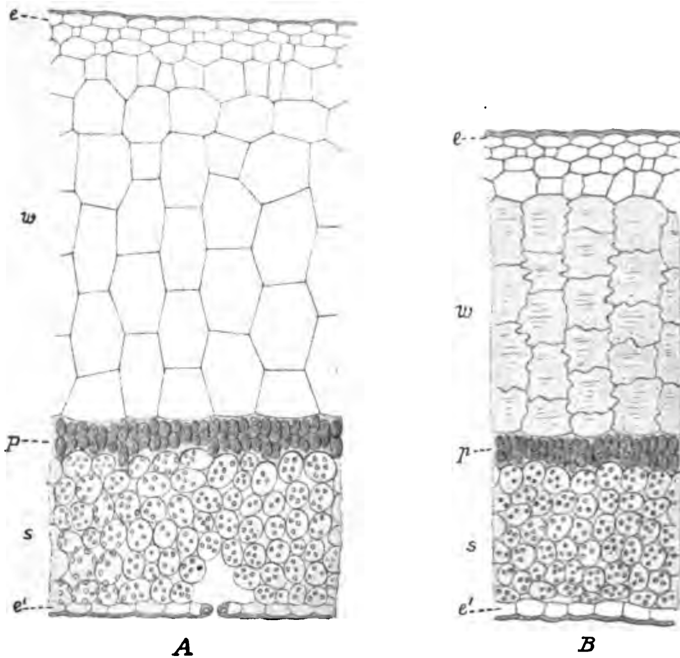


Fig. 103. Wassergewebe *w* vom Peperomia incana im Blattdurchschnitt. A turgeszent, B welk, die Zellen des Wassergewebes *w* geschrumpft, seine Wände wellig verbogen. Original.

Die Nervatur. Die Leitbündel bilden in der Pflanze zusammenhängende Stränge (vgl. S. 71). Verlaufen sie nur im Stamm, so spricht man von stammeigenen Bündeln, verlaufen sie aber im Blatt und im Stamm, so redet man, da sie gewissermaßen eine Spur des Blattes im Stamme bilden, von Blattspurbündeln oder, wenn man an die Gesamtheit aller aus einem Blatt kommenden Bündel denkt, von der Blattspur.

Die im Stamme dahinziehenden Bündel durchqueren zunächst die Rinde und treten dann in verschiedener Anzahl als sogenannte Nerven in das Blatt. Da im Stamme der Holzteil nach innen und der Phloëmteil nach außen liegt, so finden wir dementsprechend in dem dorsiventralen Blatt das Xylem oben und das Phloëm unten. Abgesehen von den Farnen sind die Leitbündel des Blattes stets kollateral.

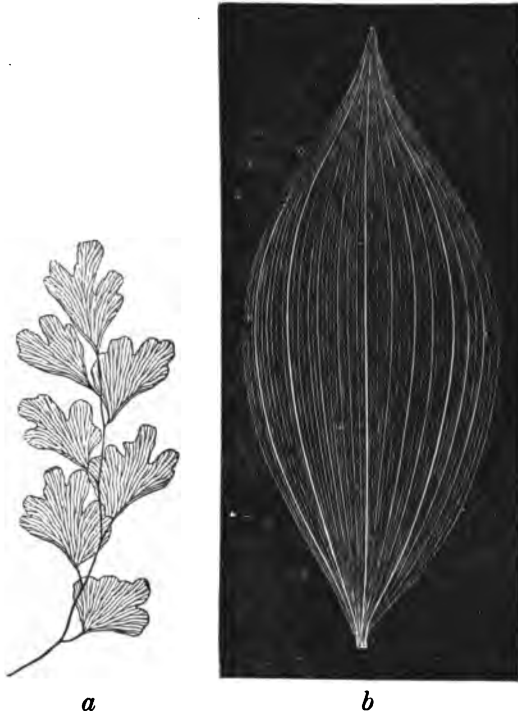


Fig. 104. a) Gabelige, getrenntläufige Nervation der Blättchen eines Farns, Adiantum. Nat. Größe. Nach Sachs. b) Streifige Nervation mit unsichtbaren Querverbindungen im Blatte des Maiglöckchens, Convallaria majalis. Nat. Größe. Nach Ettinghausen.

Bezüglich der Nervatur lassen sich zwei Haupttypen unterscheiden: 1. der getrenntläufige und 2. der vereintläufige. Im ersteren Typus verlaufen die in der Spreite befindlichen Bündel bis zu ihrem Ende frei ohne Anastomosen. Dieser Typ erscheint bei den kleinschuppigen Blättern der Schachtelhalme, Ephedraarten, Casuarineen, vielen Farnen, bei allen Koniferen und Blütenblättern.

Alle diese Blätter sind dadurch ausgezeichnet, daß sie entweder von einem einzigen Mittelnerv oder von einem System verzweigter Bündel durchzogen werden, die aber niemals durch Queranastomosen verbunden sind (Fig. 104*a*).

Im zweiten Typus erscheinen die Bündel durch zahlreiche Verzweigungen miteinander verbunden. So bei den Mono- und Dikotylen. Bei den meisten Monokotylen scheint es allerdings, als ob die Nerven parallel und getrennt voneinander verlaufen

würden (streifige Nervation), aber schon mit der Lupe oder noch besser mit dem Mikroskop läßt sich leicht feststellen, daß die Längsnerven durch viele Querbrücken verbunden sind (Fig. 104*b*).

Noch viel reicher sind die Verzweigungen zwischen den Haupt- und Nebennerven der dikotylen Blätter ausgebildet, wodurch jenes wunderbare Adernetz zustandekommt, das uns bei Betrachtung eines Linden- oder Eichenblattes im durchfallenden Lichte gefangen nimmt und durch Naturselbstdruck in so ausgezeichneter Weise festgehalten werden kann (Fig. 105). Dieses Nervennetz spielt, abgesehen davon, daß es auch für die Festigkeit des Blattes und für die Stoffableitung sorgt, bei der Wasserbewegung eine sehr wichtige Rolle. Ein Laubblatt gibt während intensiver Sonnenbeleuchtung durch Transpiration viel Wasser ab, und würde dieses nicht wieder rasch zugeführt und ersetzt werden, so würde das Blatt bald welken. Die Blattnervatur stellt ein dichtmaschiges Wassernetz von hoher Vollkommenheit dar und ihm ist es zu danken, wenn das transpirierende Blatt genügend mit Wasser versehen wird.

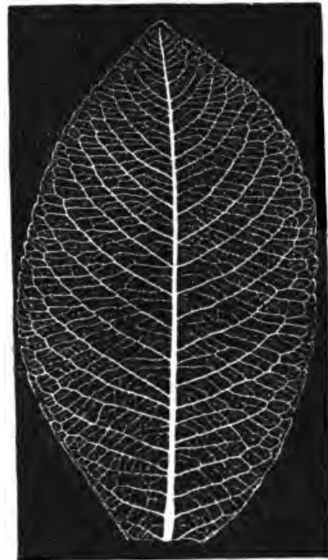


Fig. 105. Netzaderige Nervation im Blatte der Weide, Salix caprea. Nat. Größe. Nach Ettinghausen.

Wie bereits die Betrachtung mit freiem Auge lehrt, werden die Leitbündel des Blattes gegen ihr Ende zu immer feiner, indem immer mehr von den Leptomelementen wegbleibt, bis schließlich das Ende des Leitbündels nur mehr aus einer oder einigen wenigen Reihen von schraubig oder netzartig verdickten Tracheiden besteht. Häufig erscheinen die Enden von Kohlehydrat speichernden Parenchymscheiden umschlossen. Seltener ragen die Enden frei in die Lufträume des Blattes hinein und schwellen sogar blasenartig an, wie dies z. B. bei dickblättrigen Euphorbien vorkommt. Sie können als Wasserspeicher aufgefaßt werden.

Der Leptomteil endet im Verlaufe des Leitbündels früher als der Hadromteil. Die Siebröhren werden schmäler, die Geleitzellen behalten ihren ursprünglichen Durchmesser noch bei. Schließ-

lich verschwinden die Siebröhren ganz und an ihre Stelle treten plasmareiche, großkernige Zellen, die zusammen mit den Geleitzellen als Übergangszellen bezeichnet werden.

Bei einigen Pflanzen finden sich ohne direkte Verbindung mit den Leitbündeln vereinzelte oder zusammenhängende, palisaden-, schlauchförmige oder isodiametrische Zellen, deren Wände verholzt und schraubig verdickt sind. Sie sind tot und dienen als Wasserspeicher. Die sie umgebenden Zellen pressen Wasser in diese Reservoirs hinein. Wenn aber den Wasserspeichern Wasser entzogen wird, so fallen sie nicht zusammen, sondern behalten ihre Gestalt und führen verdünnte Luft. Derartigen Speichertracheïden begegnet man in Blättern und Knollen verschiedener epiphytisch lebender Orchideen (Liparis, Oncidium), ferner im Blatt und Stamm der Kannenpflanze Nepenthes.

Der Blattstiel hat die Aufgabe, die Blattspreite zu tragen und sie dem Lichte gegenüber richtig einzustellen. Er ist daher dementsprechend ähnlich wie der Stengel gebaut. Das Assimilationsgewebe tritt zurück, das mechanische und leitende System aber tritt mehr hervor als in der Spreite. Die Leitbündel stehen bei den Angiospermen nicht im Kreise, sondern in einem nach oben offenen Bogen angeordnet. Viele, namentlich den Leguminosen und Oxalideen angehörende Blätter haben am Blattstielgrunde eine gelenkartige Anschwellung, die bei den durch das Licht und den Wechsel von Tag und Nacht ausgelösten Bewegungen der Blätter eine wichtige Rolle spielen und dementsprechend gebaut sind.

4. Der Stamm.

Moose. In der aufsteigenden Pflanzenreihe tritt uns bei den Leber- und Laubmoosen zum ersten Male ein scharf differenziertes, blattragendes Stämmchen entgegen. Aber dieses Organ läßt noch keine Unterscheidung der drei Gewebesysteme erkennen, alles erscheint noch sehr einfach und verhältnismäßig gleichmäßig gebaut. Das Gefäß fehlt noch vollständig. Doch können sich bereits Anläufe für Einrichtungen zur Festigkeit und der Stoffleitung bemerkbar machen.

Die in der Peripherie gelegenen Zellen erinnern in ihrer Form, Wanddicke und ihrer Skulptur an die Bastzellen höherer Pflanzen. Sie bilden ein Prosenchymgewebe, dessen gelbliche, braun oder purpurn gefärbte Wände das Lumen stark einengen,

ja sogar fast ganz verdrängen können. Dem Prinzip erhöhter Biegungsfestigkeit entsprechend, schließen sie zu einem peripheren Hohlzylinder zusammen. Nach innen geht dieser nach und nach in ein markartiges Parenchym über, das entweder das ganze Stamminnere ausmacht oder ein axiles Leitbündel, einen Zentralstrang umhüllt (Fig. 106). Er kann als Urleitbündel aufgefaßt werden. Der Zentralstrang ist entweder einfach oder zusammengesetzt. Das einfache, den meisten Moosen eigentümliche Zentralbündel besteht aus dünnwandigen, prosenchymatischen Zellen mit

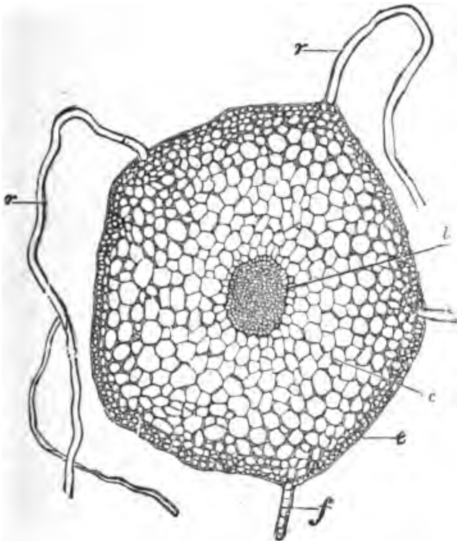


Fig. 106. Stammquerschnitt von Mnium undulatum. *l* Leitbündel, *c* Rinde, *e* äußerste Zellenschicht derselben, *f* Blattflügel, *r* Rhizoide. Vgr. 90. Nach Strasburger.



Fig. 107. Leitbündelrohr des Stammes von Aspidium filix mas (Wurmfarn), netzaderig durchbrochen. Durch Mazeration isoliert. Vgr. 2. Nach Reinke.

wässeriger Flüssigkeit. Das zusammengesetzte, wie es uns bei den hochentwickelten Polytrichaceen entgegentritt, erfährt bereits eine Sonderung in wasserleitende und in englumige, stärkeführende Leitparenchymzellen.

In phylogenetischer Hinsicht hat der Zentralstrang im Laubmoosstamm eine große Bedeutung, weil er die erste Sonderung eigener Leitungsbahnen bei niederen Gewächsen darstellt.

Das Laubmoosstämmchen entbehrt noch völlig der Spalt-

öffnungen. Seine Oberfläche trägt häufig Haare, bald einzelne, bald Reihen oder Büschel, mitunter aber so dicht, daß die ganze Oberfläche wie mit einem meist braunen Filz bedeckt erscheint. Die Haare dienen der Wasseraufnahme und Befestigung.

Farne. Der Stamm der Farne wechselt in der äußeren Form; man denke nur an die aufrechten, säulenförmigen Stämme der Baumfarne und an die kriechenden Stämme oder Rhizome der

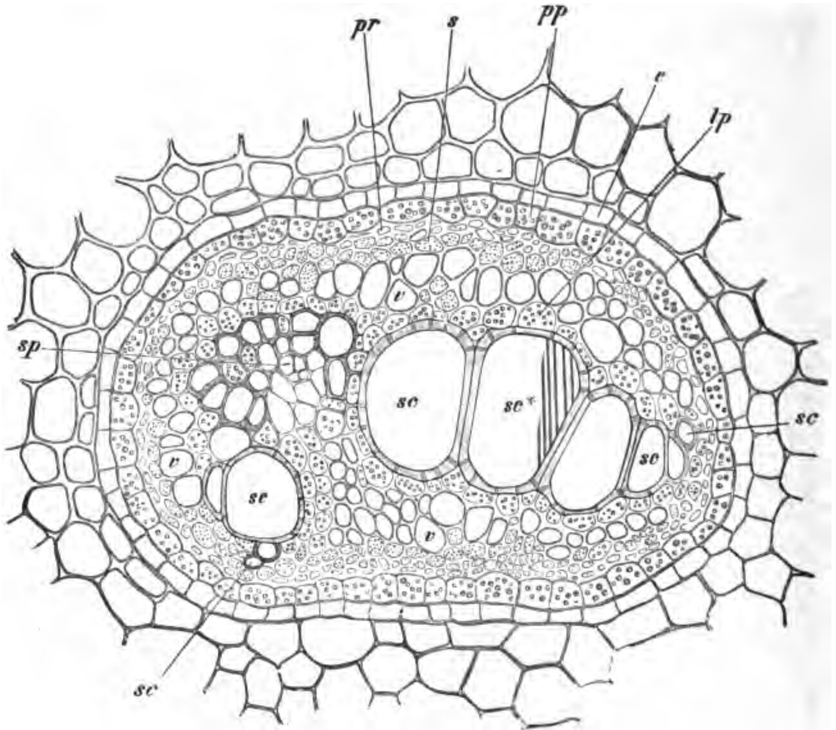


Fig. 108. Querschnitt durch ein konzentrisches Bündel aus dem Blattstiel von Pteris aquilina. Das Xylem liegt in der Mitte und wird von Phloëm und schließlich von einer Stärkeschicht *pp* und der Endodermis *e* umsäumt. *sc* Treppengefäße, *sc** Treppengefäß mit einem Stück einer leiterförmig durchbrochenen Querwand, *sp* Treppentracheiden, *lp* Holzparenchym, *v* Siebröhren, *s* Bastparenchym, *pr* junge Siebröhren. Vgr. 240. Nach Strasburger.

Polypodiaceen. Die ersteren erzeugen am ganzen Umfang des Vegetationskegels Blätter und Wurzeln und sind radiär gebaut. Die letzteren bilden Blätter, Seitensprosse und Wurzeln nur an bestimmten Stellen des kriechenden Rhizoms und sind dorsiventral gebildet.

In seltenen Fällen findet sich im Stamme ein axiler Strang, aber in den meisten erweitert sich dieser zu einem Hohlzylinder oder Bündelrohr. Dieser trennt das Grundgewebe in ein parenchymatisches Mark und einen peripheren Parenchymmantel, die Rinde. Wo ein Blatt vom Stamme ausgeht, hat das Rohr eine

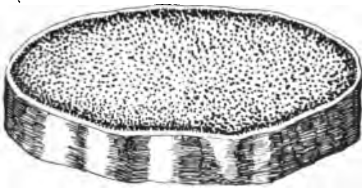


Fig. 109. Querscheibe eines Palmenstammes, (Hyphaene thebaica), die über die ganze Querfläche zerstreuten Gefäßbündel zeigend. Stark verkleinert. Original.

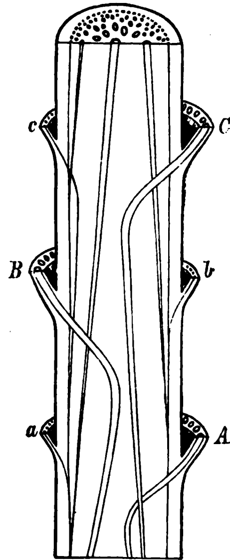


Fig. 110. Schema des Strangverlaufes nach dem Palmentypus im medianen Längsschnitt eines Monokotylenstengels; oben der Querschnitt. Die Blätter *Aa, Bb, Cc* sind nahe über ihrer stengelumfassenden Anheftung abgeschnitten; die großen Buchstaben bezeichnen ihre Mediane (Mittelnerv). Frei nach Rostofinski bzw. Rothert.

Lücke, eine Blattlücke, deren Rand ein oder mehrere Bündel an das Blatt abgibt. Stehen die Blätter sehr dicht, so erhält das Bündelrohr die Form eines hohlzylindrischen Netzes (Fig. 107). Am Querschnitt macht es oft den Eindruck, als ob völlig getrennte Einzelbündel in einem Kreise oder einer Ellipse angeordnet wären, allein dieses Bild entspricht nur dem Querschnitt des netzartigen Bündelrohres. Nicht selten sind auf dem Querschnitt die Bündel in mehreren konzentrischen Ringen gelagert. Diese kommen dadurch zustande, daß die vom Bündelrohr abzweigenden Seitenäste noch eine längere Strecke in der Rinde aufsteigend verlaufen, bevor sie in die Blätter eintreten.

Die Farnbündel sind im Stamme, meist auch im Laube, konzentrisch und durch das häufige Vorkommen von Treppentracheiden, seltener von Treppengefäßen, ausgezeichnet (Fig. 108).

Der **monokotyle Stamm** zeigt in der Regel eine große Zahl von kollateralen, geschlossenen Leitbündeln über den Querschnitt

regellos zerstreut (Fig. 109). Gegen den Umfang liegen sie dichter, gegen die Mitte weniger dicht und überall werden sie durch Parenchym voneinander getrennt. Umfaßt wird der Stamm von Hautgewebe, das entweder als Epidermis oder Periderm ausgebildet sein kann.

Bei den Monokotylen handelt es sich zumeist um Blattspuren (vgl. S. 113), die in großer Zahl aus den Blättern in den Stamm einlaufen, zuerst schräg nach unten und gegen das Innere des Stammes, dann von hier wieder allmählich nach außen, oft durch mehrere Stengelglieder hindurch nach abwärts verlaufen und häufig miteinander verschmelzen (Fig. 110). Der Mediannerv des Blattes springt gegen das Innere des Stammes weiter vor als die Seitennerven.

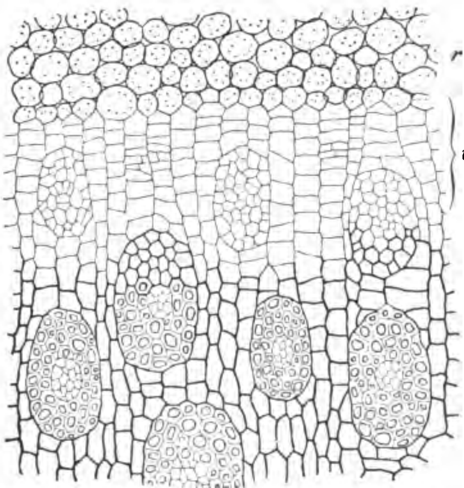


Fig. 111. Stück eines Querschnittes durch den Stamm von Dracaena marginata. *r* Rindenparenchym, *v* Verdickungsring mit jungen Leitbündeln, darunter bereits ausgebildete Leitbündel. Nach Haberlandt.

Da die Leitbündel der Monokotylen geschlossen sind und daher ohne Kambium nicht in die Dicke zu wachsen vermögen, so geht auch dem monokotylen Stamme ebenso wie dem der meisten Pteridophyten ein sekundäres Dickenwachstum in der Regel ab. Wenn ein solches trotzdem scheinbar erfolgt (Palmen), so beruht dies nicht auf einer Neubildung von Geweben, sondern auf der Vergrößerung der einzelnen vorhandenen Zellen in der Querrichtung. Doch gibt es Ausnahmen. Die baumartigen Liliifloren (Dracaena, Yucca, Aloë, Agave), ferner die Knollen von Dioscorea zeigen zunächst die Leitbündel in der für die Monokotylen charakteristischen Weise über den Querschnitt zerstreut, später entwickeln sie in der Rinde knapp über den äußersten Gefäßbündeln ein ringförmiges Folgemeristem *v*, das nach innen jahraus jahrein neue, kollaterale Leitbündel und dazwischenliegendes Grundgewebe abschnürt. Dieses Folgemeristem fungiert als Verdickungsring (Fig. 111). Welch mächtige Stämme Dracaena durch

Dickenwachstum bilden kann, lehrt der berühmte Drachenblutbaum, Dracaena draco, der 1868 auf Teneriffa durch einen Sturm vernichtet und dessen Alter auf 6000 Jahre geschätzt wurde. Der Stamm hatte einen Umfang von 15 m.

Dikotyler Stamm. Um den Bau des Stammes zu verstehen, muß man zwischen dem primären und sekundären Stadium unterscheiden. Unter primärem Stadium der Organe versteht man den Bau der Organe unmittelbar nach ihrem Auswachsen, unter sekundärem den Bau nach dem einsetzenden Dickenwachstum. — Der im primären Stadium befindliche Stamm der Dikotylen und Angiospermen zeigt auf dem Querschnitte nicht wie der monokotyle eine große Zahl regellos verteilter Bündel, sondern einen Ring von zunächst getrennten Bündeln (Fig. 72). Durch diesen Ring wird das Grundgewebe in einen zentralen Teil, das Mark *m*, und in einen peripheren, die primäre Rinde *r*, geschieden. Die zwischen den Leitbündeln liegenden Parenchymstreifen *s*, die die Verbindung zwischen Mark und Rinde vermitteln, heißen Markstrahlen.

Die Bündel sind in der Regel kollateral und offen. Das Xylem *x* liegt markwärts, das Phloëm *p* rindenwärts.

Die Bündel verlaufen gewöhnlich eine Strecke im Stamme und biegen dann in das Blatt hinüber. Solche im Stamme und im Blatte verlaufende Stränge werden Blattspurstränge, im Gegensatz zu den stammeigenen Strängen, genannt, die nur im Stamme einherziehen, und nur selten vorkommen, z. B. bei den Commelineen.

Die aus dem Blatte in den Stamm einmündenden Spurstränge verlaufen durch ein oder mehrere Stengelglieder abwärts, enden aber nicht blind, sondern vereinigen sich mit anderen Strängen.

Die Art und Weise, wie die Stränge verlaufen und sich vereinigen, ist für jede Pflanzenart ungemein charakteristisch und kann ebenso wie der Bau der Blüte ein systematisches Merkmal abgeben.

Die Vereinigung vollzieht sich bei den Dikotylen zumeist in der Weise, daß sich der Strang unten in zwei Äste gabelt, die mit dem rechts und links liegenden Nachbar verschmelzen.

Seltener verschmilzt das untere Ende des Stranges, ohne sich erst zu teilen, direkt mit einem anderen Strang, der dann die Fortsetzung des ersteren bildet. In den Knoten werden die Stränge durch stammeigene Queranastomosen miteinander verbunden.

Ob nun der Verlauf in der einen oder anderen Weise erfolgt, immer entsteht ein Netzwerk, so daß dafür gesorgt ist, daß die Saftleitung nicht nur nach der Längs-, sondern auch nach der Querrichtung gewährleistet erscheint.

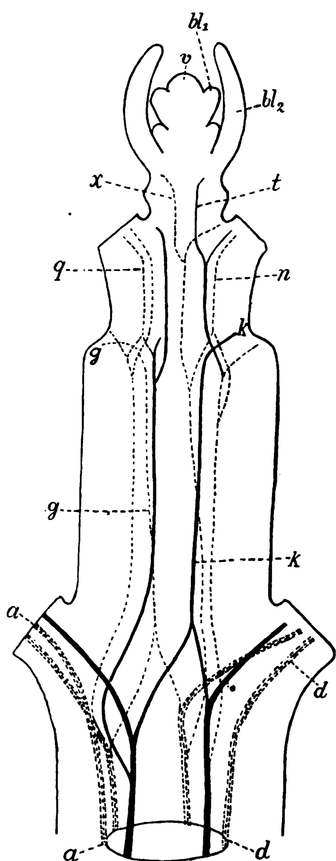


Fig. 112. Verlauf der Blattspuren am Stengel von Clematis viticella. *v* Vegetationspunkt. Die jungen Anlagen der beiden obersten Blattpaare bl^1 und bl^2 noch ohne Blattspuren. Frei nach Nägeli.

Die große Mannigfaltigkeit des Strangverlaufes wird noch dadurch vergrößert, daß die Bündel entweder senkrecht oder tangential oder radial nach abwärts ziehen.

Bei den meisten Dikotylen und Gymnospermen drückt sich im Strangverlauf nach unten im Gegensatz zu den Monokotylen insofern eine gewisse Einheitlichkeit aus, als alle Spurstränge in den Stamm ungefähr gleichweit vorspringen und dann von der Umbiegungsstelle senkrecht oder höchstens tangential, nicht aber wie bei den Monokotylen (Fig. 110), radial verlaufen, so daß sie zu einer Zylinderfläche zusammenschließen und am Querschnitt eine ringartige Anordnung erkennen lassen. Zur Verdeutlichung des Gesagten sei der Verlauf der Gefäßbündel im Stamme von Clematis viticella geschildert, dessen Blattpaare rechtwinklig abwechseln.

Behandelt man den jungen Stengel mit starkem Ätzkali, so wird er so durchsichtig, daß man den Längsverlauf der Leitbündel verfolgen kann (Fig. 112). Ganz oben erblickt man den Stammscheitel mit dem Vegetationspunkt *v*. Die in den Stengel vortretenden medianen Blattspurstränge *(ad, gk, nq, tx)* gehen durch das ganze Stengelglied abwärts und gabeln sich im Knoten in je zwei Schenkel, von denen sich jeder wieder mit benachbarten Bün-

deln vereinigt. — Das primäre Stadium des Stammes, wie es früher geschildert wurde, kann bei gewissen Pflanzen dauernd erhalten bleiben, in der Mehrzahl der Fälle jedoch tritt alsbald eine Änderung ein und das primäre Stadium geht in das sekundäre über. Die Bündel sind offen, haben ein Kambium und dieses setzt seine Tätigkeit fort. Gleichzeitig bildet sich aus den zwischen den Kambien liegenden primären Markstrahlen ein Folgemeristem, ein Interfaszikularkambium, das sich an die Kambien *c* der Bündel anschließt, und so entsteht am Querschnitt ein geschlossener Kambiumring, der Verdickungsgring (Fig. 72 *A u. B*). Dieser arbeitet nun gewöhnlich in der Weise, daß er nach innen eine geschlossene Masse von Holz und nach außen eine von Phloëm bildet. Die durch die Kambiumtätigkeit nach außen erzeugten Gewebe werden in ihrer Gesamtheit als sekundäre Rinde bezeichnet (Fig. 72). Die in das Mark oft stark vorspringenden Holzteile werden Markkrone genannt, doch wird unter diesem Begriff auch der ganze erste Jahresring verstanden.

Zu den bereits erwähnten primären Markstrahlen *s* gesellen sich dann später mit zunehmendem Dickenwachstum auch sekundäre Markstrahlen s_1 und s_2, die aus den Bündeln entstehen. Sie reichen im Gegensatz zu den primären Markstrahlen nicht bis zum Mark, sondern enden je nach der Zeit ihrer Anlage schon früher. Sie bauen sich vornehmlich aus parenchymatischen, backsteinartigen und mit ihrer Längsachse radial verlaufenden Zellen auf.

Holz. Da das Holz die Hauptmasse des Baumkörpers ausmacht und nicht nur den Botaniker, sondern auch den Techniker interessiert, so soll noch etwas spezieller darauf eingegangen werden. Der Botaniker hat oft zu entscheiden, von welcher Pflanze ein Holz herrührt, und zu diesem Zwecke muß er wissen, welche Merkmale zur näheren Bestimmung mit Vorteil herangezogen werden können. Es kommen hier Eigenschaften in Betracht, die schon mit freiem Auge oder mit der Lupe oder erst mit dem Mikroskop zu sehen sind.

a) Kern und Splint. Die Elemente des Holzes haben nur eine begrenzte Lebensdauer und sterben nach und nach ab. Sie färben sich dabei oft dunkel, werden mit verschieden Stoffen, wie Gummi, Harz und Gerbstoffen erfüllt und heben sich durch ihre dunkle Farbe von dem peripheren, meist hellgelb gefärbten Holz ab. Das Absterben erfolgt von innen nach außen. Das dunkle, tote, für die Saftleitung untauglich gewordene zentrale Holz heißt

Kernholz. Das helle, peripher gelegene, die Wasserleitung besorgende, heißt Splintholz.

Die Eigentümlichkeit, Kern auszubilden, ist für die betreffende Pflanzenart ebenso charakteristisch wie etwa die Form des Blattes oder der Bau der Blüte. Eibe, Eiche und Goldregen sind Kernbäume, Weißbuche und Ahorn Splintbäume. Die meisten technisch verwerteten Farbhölzer sind Kernhölzer. Manche davon zeichnen sich durch besondere Farbstoffe aus: das Blauholz, Haematoxylon campechianum, durch das an und für sich farblose, an der Luft leicht veränderliche Haematoxylin, einzelne Rothölzer durch das Brasilin und Brasilein, und das Sandelholz, Pterocarpus santalinus, durch das Santalin.

b) Die Markstrahlen sind oft schon mit freiem Auge als helle oder glänzende, radial verlaufende Streifen am Querschnitt kenntlich (Fig. 113). Am Radialschnitt erscheinen sie als verschieden breite Querstreifen oder Bänder, die, weil sie oft glänzen, als „Spiegel" bezeichnet werden. In der Tangentialansicht bilden sie mehr oder minder lange, spindel- oder strichförmige Längsstreifen. Je nach der Breite und Höhe wird der Markstrahl auf dem Querschnitt entweder schon mit freiem Auge oder erst mit Hilfe der Lupe gesehen. Im ersteren Falle spricht man von kenntlichen, im letzteren von unkenntlichen Markstrahlen. Eichen- und Buchenholz haben kenntliche, Weiden-, Pappel- und Ebenholz aber unkenntliche Markstrahlen.

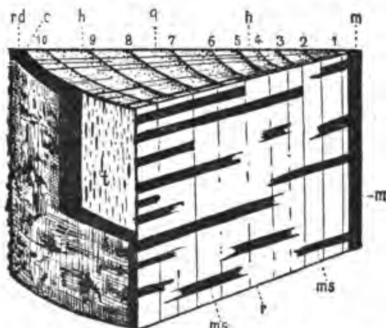


Fig. 113. 11jähriges Stammstück der Buche (Fagus). *q* Quer-, *r* Radial-, *t* Tangentialschnittansicht, *m* Mark, *rd* Rinde, *h* Holz, *c* Kambium, *ms* Markstrahlen, 1 bis 10 die aufeinanderfolgenden Jahresringe. Etwas schematisiert und vergrößert. Original.

Der Tangentialschnitt läßt in seltenen Fällen eine Querstreifung erkennen, die der Ausdruck einer in horizontalen Reihen vorkommenden Lagerung der Markstrahlen ist und einen stockwerkartigen Aufbau des Holzes zur Folge hat. Das Sandelholz, Pterocarpus santalinus, das Guayakholz, Guayacum officinale, und andere sind Beispiele hierfür.

Die Markstrahlen bauen sich in der Regel nur aus Parenchym auf. Eine Ausnahme bilden die Markstrahlen vieler Abietineen,

die sich aus zweierlei Zellen zusammensetzen, aus lebenden Parenchymzellen, die dem Transport und der Speicherung der Kohlehydrate dienen, und liegenden, toten, der Wasserleitung in radialer Richtung angepaßten Tracheiden (vgl. S. 128—129).

Die Markstrahlparenchymzellen gleichen oder ähneln den Holzparenchymzellen in der Funktion und im Bau. Sie unterscheiden sich jedoch wesentlich dadurch, daß sie nicht in der Richtung der Stammachse, sondern meist radial im Sinne der Richtung des Markstrahls gestreckt sind, weil sie eben mit der Stoffleitung in radialer Richtung betraut sind.

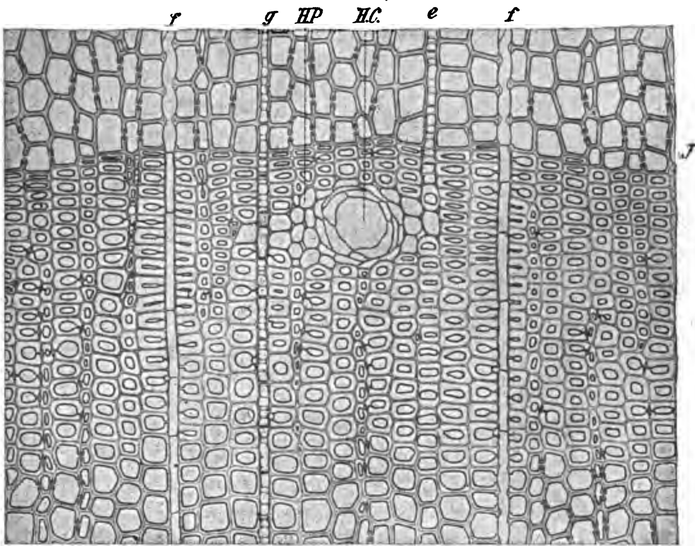


Fig. 114 Querschnitt durch das Stammholz der Kiefer, Pinus silvestris. Vgr. 125. Mit der Grenze zweier Jahresringe *J*; nach oben von ihr (nach der Stammperipherie zu) Frühlingsholz, nach unten Herbstholz. *e*, *f*, *g* Markstrahlen; in *f* ist der Schnitt durch lebende Markstrahlzellen, in *e*, *g* durch Quertracheiden mit ihren Membranzacken gegangen; *e* ist ein sekundärer Markstrahl, welcher nahe der Jahresringgrenze aufhört. *HC* ein Harzgang, umgeben von Parenchym *HP*. Nach Kny.

Man unterscheidet auch ein- und mehrschichtige Markstrahlen. Erscheint er auf dem Tangentialschnitt als einfache aufrechte Zellreihe, so heißt er einschichtig, erscheint er als spindelförmige Zellgruppe, deren Breite 2 bis viele, bei der Eiche 20 bis 30 Zellen umfaßt, so heißt er mehrschichtig. Bei der Beschreibung wird von diesem Merkmal vielfach Gebrauch gemacht, denn zahl-

reiche Hölzer, wie Weide, Ebenholz, Eibe und Tanne enthalten nur einschichtige, Fichte, Föhre, Buche und Eiche aber ein- und mehrschichtige, Ahorn und Esche aber nur mehrschichtige Markstrahlen.

c) Jahresring. Die Querschnittsfläche des Holzes läßt sehr häufig, besonders bei Gehölzen der gemäßigten Zone, mehr oder minder deutliche Ringzonen erkennen, die den jährlichen Holzzuwächsen entsprechen und daher als Jahresringe bezeichnet werden (Fig. 113). Die oft außerordentlich scharf hervortretenden Jahresringgrenzen kommen dadurch zustande, daß das im Frühling gebildete Holz einen anderen anatomischen Charakter hat als das Herbstholz und beide unvermittelt aneinander stoßen (Fig. 114). Das Frühlings- oder Frühholz besteht aus weitlumigeren, dünnwandigeren und häufig heller gefärbten Zellen als das im allgemeinen aus dichteren, dickwandigeren, dunkleren und radial abgeplatteten Zellen zusammengesetzte Herbst- oder Spätholz. Bei den Dikotylen wird der Gegensatz zwischen Früh- und Spätholz auch durch reichliches Auftreten von verhältnismäßig weitlumigen Gefäßen im Frühlingsholz besonders deutlich (Fig. 120). Bei der Beschreibung der Hölzer spielt der Jahresring gleichfalls eine Rolle, da er ein recht beständiges Merkmal darstellt. Er tritt mit großer Schärfe bei den Nadelhölzern hervor, weil hier der Unterschied in der Dichte zwischen Herbst- und Frühlingsholz stark ausgeprägt und das Herbstholz durch Harzeinlagerung in die Zellhäute oft bräunlich gefärbt ist. Auch bei den Laubhölzern kann die Jahresringgrenze sehr scharf werden, wenn das Frühlingsholz reich an Gefäßen ist und diese sich wegen ihrer Breite als deutliche Porenringe kundgeben: sommergrüne Eichen, Esche, Ulme und Edelkastanie. Im allgemeinen ist aber bei den Laubhölzern der Jahresring weniger deutlich, da die Gefäße oft über den ganzen Jahresring zerstreut sind und das Holz dann nicht mehr ring-, sondern zerstreutporig erscheint. Bei vielen tropischen Hölzern (Ebenholz, Diospyros ebenus), kann die Jahresringgrenze nur mikroskopisch festgestellt werden.

d) Parenchymbinden. Die Holzparenchymzellen umschließen gewöhnlich die Gefäße, außerdem treten sie aber in tangentialen, mehrreihigen Zonen *p* auf, die die Gefäße *g* mit einander verbinden. Das sind die sogenannten Parenchymbinden, wie sie uns im Sandel-, Amarant-, Eichen-, Weißbuchen-, Nuß- und Hikoryholz deutlich entgegentreten (Fig. 115).

e) Thyllen[1]). Die Holzgefäße erscheinen nicht selten von eigentümlichen, blasenartigen Gebilden mehr oder weniger erfüllt, die als Thyllen bezeichnet werden.

Thyllen können in Schrauben-, Ring- und Tüpfelgefäßen auftreten. Bei den beiden ersteren ist die dünne Gefäßwand mit der benachbarten Parenchymzellwand innig verschmolzen und diese beiden Wände wachsen zur Thylle aus (Fig. 116). Bei Tüpfelgefäßen stellt die Schließhaut einseitiger Hoftüpfel die Thyllenanlage dar. Hier kommt die Thylle durch Auswachsen der Schließhaut zustande. Immer stellt sich die Thylle als eine sackartige Ausstülpung einer Parenchymzelle in den Hohlraum des Gefäßes dar. Die Ausstülpung kann als solche erhalten bleiben, sie kann sich aber auch durch Abgliederung mittels einer Zellhaut zu einer selbständigen Zelle machen. Indem nun Thyllen von allen Seiten in das Gefäß hineinwachsen und schließlich sich berühren, entsteht

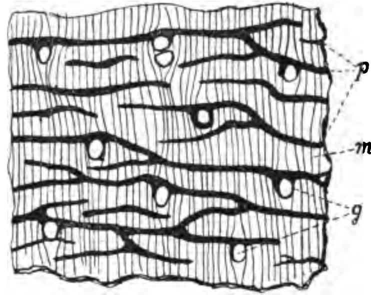


Fig. 115. Parenchymbinden *p* im Querschnitt vom Sandelholz, Pterocarpus santalinus. *g* Gefäße, *m* Markstrahlen. Lupenbild. Original.

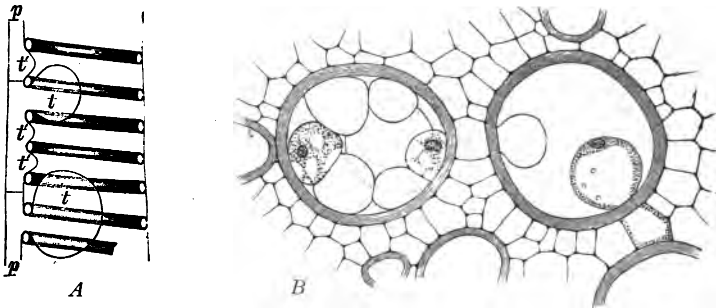


Fig. 116. Thyllen. A in einem Spiralgefäß von Musa ensete. Vgr. 300. *p* Parenchymzellen, *t* Thyllen, *t'* Ansätze zur Thyllenbildung. B. Stück eines Blattstielquerschnittes vom Kürbis, Cucurbita pepo. Vgr. 230. Zwei Spiralgefäße mit Thyllen; im linken das Lumen fast ganz von ihnen ausgefüllt, im rechten sieht man die Verbindung der Thyllen mit den Parenchymzellen, zu denen sie gehören, durch die Verdickungsleiste des Gefäßes hindurchscheinen; in einigen Thyllen ist der plasmatische Inhalt eingezeichnet. Original.

[1]) Von θύλλις, die Blase.

eine Art Parenchym, das die Gefäße auf weite Strecken ausfüllen kann.

Die Marantaceen, Musaceen, Juglandeen, Urticaceen, Ulmaceen, Anacardiaceen, Vitaceen, Cucurbitaceen und Aristolochiaceen neigen stark zur Thyllenbildung. Die Thyllen dienen in erster Linie als Verstopfungseinrichtungen, daher werden die mit Thyllen erfüllten Gefäße für die Saftleitung unbrauchbar. In zweiter Linie können sie, solange sie noch lebendig sind, als Stärkespeicher fungieren, wie die Holzparenchym- und Markstrahlzellen. Die Verstopfung der Holzgefäße erfolgt bei manchen Hölzern auffallend früh. Bei der falschen Akazie (Robinia) z. B. sind nur die Gefäße des letzten, also des jüngsten Jahresringes noch frei von Thyllen, alle andern aber erscheinen durch Thyllen schon verlegt. Die Wasserleitung vollzieht sich daher bei diesem Baume fast ausschließlich im letzten Jahresringe.

Nadelholz und Laubholz unterscheiden sich in einem wesentlichen Punkte von einander: das Nadelholz entbehrt, abgesehen vom 1. Jahresring, der Gefäße, das Laubholz hat hingegen in allen Jahresringen Gefäße. Im folgenden soll zur besseren Veranschaulichung des Gesagten noch die kurze Beschreibung zweier Nadelhölzer und eines Laubholzes gegeben werden.

a) Das Eibenholz, Taxus baccata, zeigt einen schmalen, gelblichen Splint und einen weiten, rötlichbraunen Kern. Es gehört zu den einfachstgebauten Hölzern, denn es besteht, abgesehen von den Markstrahlzellen, nur aus schraubig verdickten Tracheiden. Die Markstrahlen bauen sich nur aus Parenchymzellen auf und sind stets einschichtig.

b) Föhrenholz. Komplizierter als das Eibenholz ist schon das Föhrenholz, Pinus silvestris, gebaut, da es neben den Tracheiden auch Holzparenchym, Harzgänge und ein- und mehrschichtige Markstrahlen enthält.

Der Querschnitt zeigt die Jahresringgrenze *J*, die Markstrahlen *e*, *f*, *g* und den Harzgang *HC*, von Epithel- und Parenchymzellen umgeben (Fig. 114).

Der Tangentialschnitt zeigt, abgesehen von den Tracheiden, die einschichtigen und mehrschichtigen, von einem Harzgang durchsetzten, Markstrahlen *m* und *m'* (Fig. 117). Der Radialschnitt läßt die Zusammensetzung der Markstrahlen aus zweierlei Zellen erkennen: aus liegenden Tracheiden mit zackiger Wandverdickung

z und Hoftüpfeln und dünnwandigen, meist großporigen Parenchymzellen (S. 125, Fig. 118).

c) Eichenholz. Während bei den Nadelhölzern der Bau des Holzes verhältnismäßig einfach ist, da es ja der Hauptsache nach aus Tracheiden besteht, ist bei den Laubhölzern der Bau im allgemeinen viel verwickelter, denn hier nehmen Tracheen, Tracheiden, Libriformfasern und Parenchymzellen an dem Aufbau teil. Die Verschiedenheit der Elemente, ihr wechselndes Mengen-

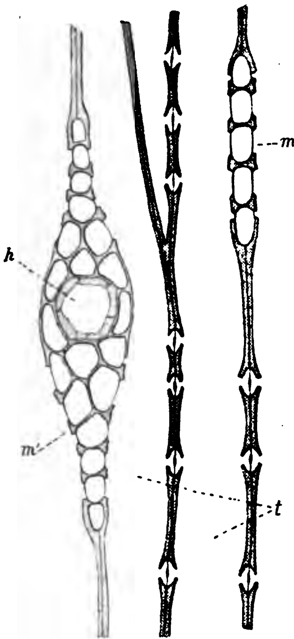


Fig. 117. Tangentialschnitt durch das Holz der Kiefer, Pinus silvestris. *m* einschichtiger, *m'* mehrschichtiger Markstrahl mit Harzgang *h*, *t* Tracheiden. Vgr. 150. Original.

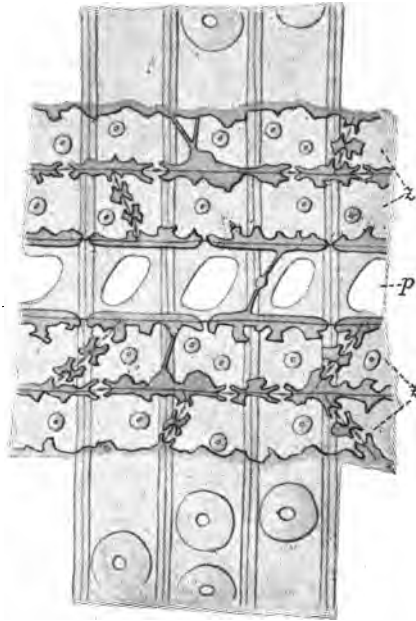


Fig. 118. Radialschnitt durch das Holz der Kiefer, Pinus silvestris. Der Markstrahl besteht aus den zackig verdickten, behöft getüpfelten Zellen *z* und den großporigen *p*. Vgr. 285. Original.

verhältnis und die Mannigfaltigkeit ihrer Anordnung bedingen den oft recht komplizierten Bau der Laubhölzer.

Die sommergrünen Eichen haben folgende Merkmale gemeinsam: 1. die im Frühlingsholz liegenden, schon mit freiem Auge kenntlichen Ringporen (Gefäßquerschnitte), von denen aus immer kleiner werdende Gefäße in radialer Richtung schwanz-

artig gegen das Herbstholz sich erstrecken, so daß eine geflammte Zeichnung entsteht, 2. den breiten, braunen, gerbstoffreichen Kern und den schmalen hellen Splint, 3. die breiten kenntlichen und schmalen unkenntlichen Markstrahlen (Fig. 119).

Nach der Schilderung der Anatomie sei noch kurz auf die Funktion des Holzes hingewiesen. Sie ist durchaus keine einheitliche, sondern, wie bereits aus früheren Betrachtungen zu ersehen war, eine sehr verschiedene: 1. dient das Holz in erster Linie der Wasserleitung. Das von der Wurzel aufgenommene Wasser bewegt sich als sogenannter Transpirationsstrom durch das Holz nach aufwärts. Das tracheale System spielt hierbei die Hauptrolle. 2. Fungiert es hauptsächlich durch die Libriformfasern als festigendes Gewebe und 3. durch die Parenchym- und Markstrahlzellen als Speichergewebe.

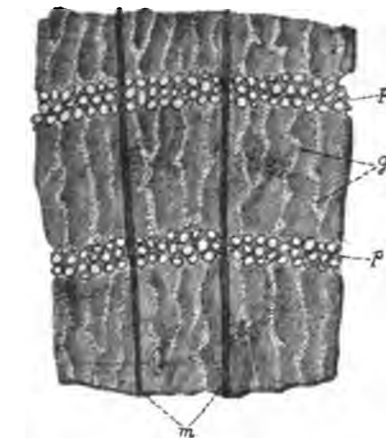


Fig. 119. Holz der Eiche, Quercus pedunculata. *p* Porenringe im Frühlingsholz, *g* Gruppen von englumigen Gefäßen, *m* kenntliche Markstrahlen. Vgr. 15. Halbschematisch. Original.

Weiter auf die Holzanatomie einzugehen, ist leider hier nicht möglich, es sei nur hervorgehoben, daß die Verwandtschaft der Pflanzen sich oft im Holzbau äußert und daß man aus diesem Grunde und aus technischen Rücksichten der mikroskopischen Beschreibung der Hölzer große Aufmerksamkeit geschenkt hat, so daß eigene Werke über Holzanatomie entstanden sind.

Rinde. Der Begriff Rinde im volkstümlichen Sinne deckt sich durchaus nicht mit dem wissenschaftlichen Begriff. Der Laie pflegt jedes an der Peripherie gelegene Gewebe als Rinde zu bezeichnen, die Baumrinde ebenso wie die Fruchtschale der Orange und die Haut der Gurkenfrucht. Der Anatom nennt primäre Rinde alles Gewebe, das außerhalb des Gefäßbündelkreises oder der Gefäßbündel liegt. Und unter sekundärer Rinde versteht er all die verschiedenen Gewebe, die durch den Verdickungsring nach außen abgeschieden werden (Fig. 120). Bei den holzigen Dikotylen und Nadelhölzern läßt sich die Rinde bis zum Kambium oder Ver-

dickungsring leicht ablösen. Eine derartige Rinde kommt bei den Monokotylen nicht vor.

Die sekundäre Rinde wird auch Bast genannt, wie denn überhaupt das Wort Bast in recht verschiedenem Sinne gebraucht wird. Man bezeichnet damit auch das Phloëm und die Bastfasern.

Die in der sekundären Rinde vorhandenen, stark verdickten Bastfasern werden auch als Hartbast dem aus mehr dünnwandigen Elementen, wie sie die Siebröhren, Geleit-, Bastparenchym- und Kambiformzellen darstellen, bestehenden Weichbast gegenübergestellt.

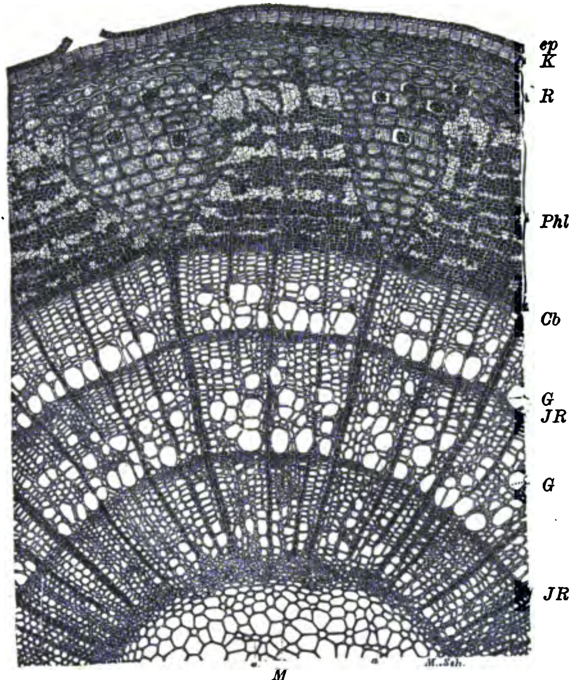


Fig. 120. Querschnitt durch einen dreijährigen Zweig der Linde, Tilia europaea. Schwach vergrößert. Außen (oben) ein mehrschichtiges Korkhäutchen *K*, von der Epidermis *ep* bedeckt. *R* primäre Rinde. *Phl* Bast oder sekundäre Rinde, durch zwei nach außen stark verbreiterte Markstrahlen in faszikulare Abschnitte zerlegt; in diesen Gruppen von Bastfasern (Hartbast, hell), in den Weichbast eingebettet. *Cb* Kambiumring. Zwischen diesem und dem Mark *M* das Holz, mit 3 Jahresringen und vielen 1- und 2schichtigen Markstrahlen; *JR* die Jahresringgrenzen, *G* weitlumige Gefäße. Nach Kny.

Nicht selten bilden Hart- und Weichbast tangential abwechselnde Bänder, die durch die Markstrahlen zerteilt sind. Bei gewissen Cupressaceen (Thuja) sind diese Bänder von sehr großer Regelmäßigkeit, bei den Dikotylen aber erscheinen die Hartbastschichten oft von verschiedener Dicke, von Weichbast unterbrochen oder ganz unregelmäßig zerstreut (Fig. 121).

Die Zusammensetzung der Rinde wechselt je nach dem Alter. Im primären Stadium besteht sie aus der Epidermis, dem Rinden-

parenchym und dem Phloëm. Später, wenn der Verdickungsring sich gebildet und der primäre Zustand dem sekundären Platz gemacht hat, kommen neue Gewebemassen hinzu und gleichzeitig wird die Epidermis durch Kork ersetzt. Die Korkschichten können sich auch in tieferen Lagen der Rinde, ja sogar im Phloëm bilden; da aber der Kork bald abstirbt und alle die darüberliegenden Gewebe vom Saftzufluß absperrt, so werden auch diese bald vom Tode überrascht und so entsteht jenes höchst komplizierte Gewebe, das als Borke bezeichnet wird. Sie ist kein selbständiges Gewebe, sondern setzt sich aus sämtlichen peripheren, abgestorbenen Rindenanteilen zusammen. Kork-, Parenchym-, Kollenchym-, Stein-, Kristall-, Bast- und Leitparenchymzellen können an dem Aufbau der Borke teilnehmen. Während also der Kork in der Regel nur aus einer Art von Zellen, den Korkzellen besteht, wird die Borke aus sehr verschiedenen Elementen aufgebaut.

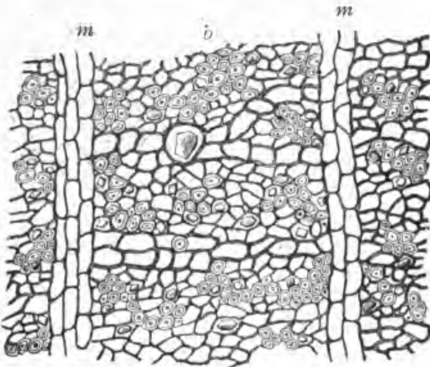


Fig. 121. Bast der Ulme, Ulmus effusa. Querschnitt. Vgr. 160. *b* Bastfasergruppen, im Weichbast eingestreut. *m* Markstrahlen. Nach Moeller.

Die Borke als totes Gewebe kann schließlich dem Dickenwachstum des Stammes nicht folgen und wird abgestoßen. Die Form, in der dies geschieht, ist für die einzelne Art sehr charakteristisch. Demgemäß spricht man von Schuppen- (Platane, Kiefer), Ringel- (Kirsche), Netz- (Broussonetia papyrifera) oder Faserborke (Waldrebe).

Die Fig. 122 gibt einen Überblick über den Bau der Borke einer Eiche, Quercus sessiliflora. Wir sehen hier drei Korklagen, 1, 2 und 3, dazwischen Parenchymzellen mit Kalkoxalatkristallen, Bast- und Steinzellen. Diese kommen in Rinden besonders häufig vor, entweder einzeln oder in Gruppen (Nestern) oder in einem geschlossenen Ring wie bei Eichen, Erlen und Zimmt. Manchen Rinden fehlen sie, wie bei gewissen Weiden und dem weißen Kaneel (Canella alba).

Die Anordnung und das Mengenverhältnis der Rindenele-

mente lassen so viele Kombinationen zu, daß die mikroskopische Untersuchung viele Anhaltspunkte zur Erkennung und Unterscheidung der namentlich für die Medizin und Technik wichtigen Rinden darbietet.

Abnormer Stammbau. Der im vorhergehenden geschilderte Bau des Stammes der Dikotylen und Gymnospermen entspricht der Regel. Bei gewissen Pflanzen aber, insbesondere bei den Schling- und Kletterpflanzen, also bei den Lianen, finden wir in Anpassung an die besondere Lebensweise höchst interessante Abweichungen im Dickenwachstum und im Aufbau des Stammes. Die Lianen bilden bekanntlich verhältnismäßig sehr lange, schmale, seilartige Stämme, die an hohen Bäumen emporklimmen und in und über der Krone dieser ihr Laub ausbreiten. Ihre Stämme legen sich entweder der Unterlage an oder sie hängen herab und baumeln gleich Tauen hin und her, werden vom Winde gezerrt und dabei auf Zug- und Biegungsfestigkeit in hohem Maße in Anspruch genommen. Der seilartige Stamm hat seine eigene Last zu tragen, er wird durch sein Eigengewicht gezogen, häufig auch gezerrt. Gleichzeitig wird er, wenn die von ihm als Unterlage benutzten Bäume vom Sturm hin und her gepeitscht werden, Gefahr laufen, gebogen, gedreht und geknickt zu werden. Solchen Ansprüchen wird ein Organ dann am besten angepaßt sein, wenn es nach dem Modell eines Seiles gebaut ist,

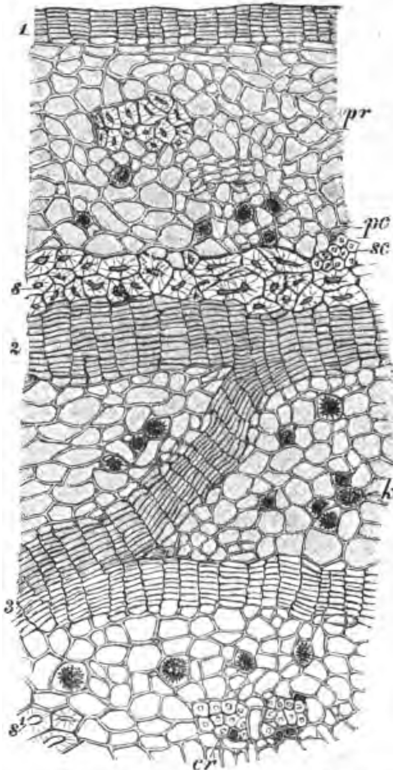


Fig. 122. Borke der Steineiche, Quercus sessiliflora. 1, 2 und 3 nacheinander erzeugte Korkschichten. *pr* primäre Rinde, *pc* Grundgewebe, *sc* Sklerenchymfasern, *s* nacherzeugte Steinzellen, *s*¹ Steinzellen im sekundären Zuwachse, *cr* Bastfasern, von Kristallzellen begleitet, *k* Zellen mit Kristalldrusen. Alles Gewebe außerhalb der innersten Korkschicht abgestorben und gebräunt, in Borke verwandelt. Vgr. 225. Nach Strasburger.

d. h. wenn der Holzkörper nicht eine kompakte Masse, sondern von weicherem Gewebe vielfach durchklüftete Stränge darstellt. Es soll nun an einzelnen Beispielen gezeigt werden, daß dies in vielen Fällen in mehr oder minder großer Vollendung verwirklicht ist.

Die Fig. 123 zeigt einen Querschnitt durch einen jungen Stamm einer Bignoniacee. Hier bleibt schon zu Beginn des sekundären Dickenwachstums an vier kreuzweise gegenüberstehenden Stellen, die den vier stärksten Rindenbündeln *r* entgegengesetzt sind, der Holzzuwachs zurück, während der Zuwachs der sekundären Rinde entsprechend zunimmt. Die Folge davon ist, daß der Holzkörper durch kreuzweises Eindringen von weichem

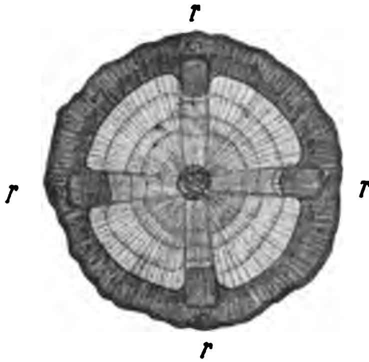


Fig. 123. Stammquerschnitt der Bignoniacee, Adenocalymma marginatum. Original.

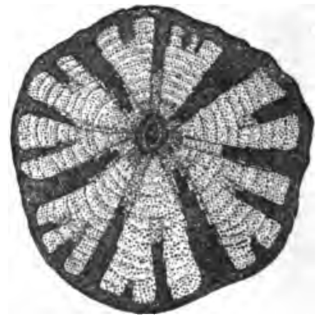


Fig. 124. Stammquerschnitt von Bignonia sp. Der Holzkörper (hell) vielfach durch Bast (dunkel) zerklüftet. Nach Frank.

Phloëmgewebe zerklüftet und daß diese Zerklüftung mit zunehmender Dicke immer auffallender wird. Die Zerklüftung wird natürlich dort noch einen höheren Grad erreichen, wo das Eindringen der weichen Gewebemassen in den starren Holzkörper nicht nur an vier, sondern an mehr Punkten eintritt, wie das z. B. an Fig. 124 zu sehen ist.

In dem oben besprochenen Falle war ursprünglich ein einziger Verdickungsring vorhanden; bei den rankenden Sapindaceen Serjania, Paullinia u. a. treten aber schon frühzeitig mehrere benachbarte Verdickungsringe auf, entweder in der Weise, daß sich

um einen Hauptring mehrere kleine lagern oder daß mehrere ungefähr gleichgroße sich in den Querschnitt einordnen. Jeder Verdickungsring bildet wie ein normaler nach innen Holz, nach außen Phloëm und ein solcher Stamm, der wieder von einer gemeinsamen Rinde umgeben ist, sieht dann so aus, als ob er aus mehreren einzelnen Stämmen entstanden wäre, die später miteinander verwachsen sind (Fig. 125).

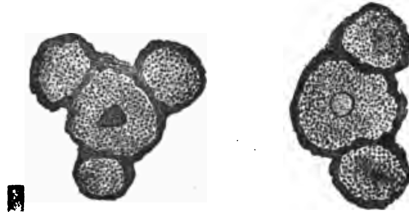


Fig. 125. Zwei Stammquerschnitte von Serjania paniculata, in verschiedener Höhe desselben Stammes. Nach Frank.

Ein auffallendes Dickenwachstum und dadurch hervorgerufener, abnormer Stammbau kann schließlich auch in der Weise zustandekommen, daß zunächst ein normaler Ring von Bündeln angelegt wird, daß aber später außerhalb desselben, aus einem Folgemeristem ein zweiter, später noch ein dritter und endlich noch weitere angelegt werden (Fig. 126).

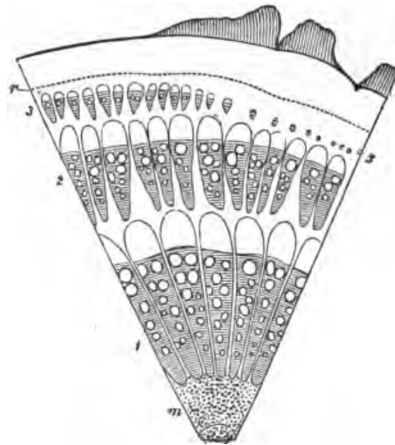


Fig. 126. Stück eines Zweigquerschnittes von Gnetum scandens. Vgr. 8. *m* Mark, *r* primäre Rinde, außen von rissigem Kork bedeckt. *1* Kreis der primären Leitbündel, *2*, *3* Kreise von sekundären Leitbündeln. Das Xylem der Bündel schraffiert mit Aussparung der größeren Gefäße, das Phloëm umrandet. Nach de Bary.

Jeder Ring erzeugt einige Zeit Holz und Rinde und, wenn seine Tätigkeit erlischt, bildet sich durch Teilungen im Rindenparenchym ein neuer Ring, dem nach einiger Zeit wieder ein neuer folgt. Diese verschiedenen Ringe treten bei verschiedenen Menispermaceen und bei Wistaria in der primären Außenrinde und bei Bauhinia, Phytocrene, bei verschiedenen Convolvulaceen und bei Gnetum in der sekundären Rinde auf.

IV. Angewandte Anatomie.

Die vorhergehenden Kapitel haben uns mit dem wunderbaren Bau der Pflanze und den spezifischen Leistungen der Zellen und Gewebe näher bekannt gemacht und uns die wesentlichen Ergebnisse der beschreibenden und der physiologischen Anatomie kennen gelehrt. —

Die beschreibende Anatomie schildert den inneren Bau der Pflanze, wie er ist, ohne genauer auf eine Erklärung dieses Baues einzugehen.

Die physiologische Anatomie setzt sich nicht bloß die Beschreibung als Ziel, sondern sucht auch gleichzeitig den inneren Bau der Pflanzenorgane aus ihrer Funktion zu erklären und die Übereinstimmung zwischen Bau und Leistung der Zellen und Gewebe darzutun.

Die „reine" als Selbstzweck betriebene Anatomie hat nach verschiedenen Richtungen eine Vertiefung erfahren, indem man sie als Hilfsmittel für bestimmte botanische Probleme benützt oder besser gesagt angewendet hat. Es sei hier in erster Linie hingewiesen auf die systematische Anatomie, die den inneren Bau der Pflanze zur besseren Begründung des Pflanzensystems heranzieht.

Systematische Anatomie. Die Verwertung mikroskopischer Merkmale in der Systematik wurden vereinzelt schon seit langer Zeit in Anspruch genommen, so bei der Aufstellung von Pflanzensystemen durch de Candolle und Endlicher zur Unterscheidung der Monokotylen und Dikotylen, zur Charakteristik der Koniferen durch Martius, ferner von Seite derjenigen, die als Botaniker sich mit Kryptogamen, insbesondere mit Thallophyten und Moosen beschäftigten. Allein erst L. Radlkofer und seinem Schüler H. Solereder war es vorbehalten, die systematische Anatomie als wissenschaftliche Methode zum Durchbruch zu bringen und ihre große Bedeutung für das Pflanzensystem ins richtige Licht zu setzen. Während der Systematiker sich früher bloß mit den äußeren Merkmalen der Pflanze beschäftigte, berücksichtigt der modern geschulte Systematiker stets auch den inwendigen, mikroskopischen Bau der Pflanze und verwertet die anatomischen Verhältnisse für die Feststellung der Verwandtschaft der einzelnen Arten, Gattungen, Familien und noch größerer Gruppen.

Die Verwandtschaft der Gewächse offenbart sich, wie ja von vornherein zu erwarten war, nicht bloß im äußeren Bau und der

Gestalt der Blüte, sondern zumeist auch in der inneren Anatomie der ganzen Pflanze und zwar sowohl ihrer vegetativen, als auch ihrer sexuellen Organe. — Die anatomischen Merkmale sind von zweierlei Art. Die einen sind unabhängig von äußeren Lebensbedingungen, sind im Laufe der Stammesgeschichte fest fixiert und vererbt worden. Sie werden phyletische Merkmale genannt. Die anderen sind hingegen von äußeren Bedingungen, wie sie Klima und Standort bieten, abhängig, und stellen Anpassungen an Licht, Feuchtigkeit und eine bestimmte Lebensweise dar. Solche Merkmale werden als physiologische oder biologische bezeichnet. Von besonderer Bedeutung sind die in starker Beharrung befindlichen phyletischen Kennzeichen: Der Spaltöffnungsapparat, die Haare, die Art der Oxalatausscheidung, die Zystolithen, die Sekretbehälter, bikollateralen Bündel u. a. Alle diese Merkmale können für größere oder kleinere Gruppen, aber nicht immer für alle Gattungen dieser charakteristisch sein. Als echt phyletisches Merkmal muß der Spaltöffnungsapparat angesehen werden, denn es hat sich gezeigt, daß diesem unter den verschiedensten äußeren Bedingungen ein großes Beharrungsvermögen zukommt, daß den Gymnospermen, Gramineen und Muscineen je ein ganz bestimmter Typus des Spaltöffnungsapparates zukommt, und daß dieses phyletische Merkmal auch zu phylogenetischen Schlüssen über die Verwandtschaft der Pflanzen herangezogen werden kann (Porsch). — Eine geringere Bedeutung für größere Gruppen kommt den biologischen Charakteren zu, sie dienen hauptsächlich zur Charakterisierung der Art, seltener kleinerer Gruppen verwandter Arten oder gar der Gattungen und kleineren Familien.

In den Rahmen der angewandten Anatomie im engeren Sinne gehört auch die Erkennung zahlreicher Nahrungs- und Genußmittel, technisch verwerteter Rohstoffe und Drogen auf Grund des Baues der betreffenden Zellen und Gewebe.

Der geübte Mikroskopiker wird aus dem mikroskopischen Bilde, das ein Mehl gewährt, nicht bloß erkennen, daß es der Hauptmasse nach aus Stärkekörnern besteht, sondern er wird aus der Größe, Form und Struktur dieser, sowie aus gewissen Gewebebestandteilen der Frucht, den sogenannten Leitfragmenten, auch erschließen, von welcher Pflanze das Mehl gewonnen wurde. Er wird feststellen, ob reines oder aus zwei oder mehreren Sorten von Mehlen vermischtes Mehl vorliegt.

Der Untersucher von Genußmitteln hat sehr häufig die Frage zu entscheiden, ob eine echte oder unechte Teesorte vorliegt, eine Frage, die der Chemiker allein häufig auf Grund rein chemischer Methoden nicht zu beantworten vermag, denn bei solchen und ähnlichen Untersuchungen bildet das Mikroskop die höchste Instanz. Das echte Teeblatt hat einen ganz bestimmten Blattbau, hat eigenartig gebaute Haare und im Mesophyll sehr charakteristische Idioblasten, große geweihartig verzweigte Zellen, die für die Erkennung des echten Teeblattes ein ausgezeichnetes Kennzeichen abgeben. In gewissen Surrogaten, die als Verfälschung des echten Tees dienen, wie Blätter der Weide, des Weidenröschens, des Steinsamens und anderer wird man vergebens nach solchen Idioblasten fahnden.

Handelt es sich darum, festzustellen, welcher Pflanze ein bestimmtes fossiles oder rezentes Holz angehört, wird man gleichfalls die Anatomie mit Erfolg heranziehen, denn die verschiedenen Holzarten haben, jede für sich, einen so eigenartigen Bau, daß man aus der Art und Anordnung der Elemente die Holzart in vielen Fällen erkennen kann. Ja, die mikroskopische Untersuchung selbst eines Holzpapieres läßt noch die Erkennung der Abkunft dieses Holzes zu.

Dieselbe Wichtigkeit, die die Anatomie der Pflanze für die Untersuchung von Nahrungs-, Genußmitteln und für den Techniker hat, besitzt sie, vielleicht noch in viel höherem Maße, für den Pharmakognosten, denn im Grunde genommen fußt ja die Pharmakognosie zum großen Teile auf einer sehr ausgiebigen Anwendung der Anatomie der Pflanze auf pharmazeutisch verwendete Pflanzenobjekte. Eine Chinarinde, eine Enzianwurzel, ein Tollkirschenblatt oder die Knollen des Eisenhuts müssen, wenn ihre Diagnose sicher gestellt werden soll, anatomisch untersucht werden.

Neben den anatomischen Merkmalen spielen in der systematischen Anatomie auch mikrochemische Merkmale eine Rolle, insofern sie auch bis zu einem gewissen Grade zur Feststellung der Verwandtschaft herangezogen werden können. Es seien nur einige wenige Beispiele herausgegriffen.

Die Samen und vegetativen Organe der Cruciferen enthalten durchwegs mit Millons Reagens sich ziegelrot färbende Idioblasten, gefüllt mit dem Fermente Myrosin, das das in anderen Zellen vorhandene Glykosid Sinigrin in Zucker, Senföl und Kaliumbisulfat

zu spalten vermag. Dieses Ferment findet sich, soweit bekannt, nur bei den Cruciferen und ihren nächsten Verwandten, den Resedaceen, Capparideen, Tropaeolaceen und Limnanthaceen — ein schönes Beispiel, wie die Verwandtschaft der Pflanze auch im Chemismus zum Ausdruck kommen kann. —

Charakteristisch für die Familie der Kompositen ist das Kohlehydrat Inulin, das in der Pflanze gelöst vorkommt, nach Behandlung mit Alkohol aber in schönen Sphäriten innerhalb der Gewebe herausfällt. Es ist aber nicht auf die Korbblütler beschränkt, sondern kommt auch bei nahe verwandten Familien, z. B. bei den Campanulaceen, Lobeliaceen und Goodeniaceen vor.

In den unterirdischen Teilen der Stellatae, einer Unterfamilie der Rubiaceen, findet sich ein Abkömmling des Anthracens, die Ruberythrinsäure, vor, die bisher nur in dieser Familie festgestellt wurde.

Von anderen Farbstoffen seien noch erwähnt: das Alkannin, das nur in der Familie der Borragineen, wenngleich auch nicht allgemein vorkommt, das Phykoerythrin und Phykozyan, das den Rot- und Blaualgen, das Helichrysin, das gewissen Kompositen, das Skutellarin, das gewissen Labiaten, Schleime, die den Malvaceen und verwandten Familien, das Saponin, das den Caryophyllaceen und Sapindaceen, Harze, die den Coniferen, und Gummiarten, die den Rosifloren eigentümlich sind.

Es kann aber auch der Fall eintreten, daß ein bestimmter Stoff innerhalb einer Familie nur eine oder einige wenige Arten auszeichnet. So liefert der Waid, Isatis tinctoria, als einzige Cruciferen-Gattung das Indigblau und auch unter den nächsten Verwandten trifft man keine Indikanpflanze; solche finden sich erst wieder bei einzelnen Apocyneen, Asclepiadeen und Orchideen.

Die pathologische Anatomie stellt jenen Zweig der Anatomie dar, der sich die Erforschung des Baues abnormer oder pathologischer Teile der Pflanze zum Ziele setzt. Die Zellen und Gewebe solcher Objekte zu beschreiben, mit den entsprechenden normalen Geweben zu vergleichen, ihre Entstehung, Entwicklungsmechanik und ihre Funktion aufzudecken, entspricht der Aufgabe der pathologischen Anatomie. Unsere derzeitigen Erfahrungen und Ergebnisse auf diesem Gebiete zum ersten Male in den Grundzügen zusammengefaßt zu haben, ist das Verdienst E. Küsters (Pathologische Pflanzenanatomie 2. Aufl. Jena 1916).

Wie aus dem Vorhergehenden erhellt, hat die Anatomie der Pflanze nach verschiedenen Richtungen Anwendung gefunden und dadurch ist ihre Bedeutung auch in der Praxis gestiegen. Zahlreiche, dem Pflanzenreiche entstammende Objekte bedürfen in ihren verschiedenen Formen zur sicheren Erkennung einer genauen mikroskopischen Beschreibung und dazu liefert die Anatomie eine ausgezeichnete Grundlage. Denn die kleinsten Gewebesplitter, selbst die einzelne Zelle, ja sogar Teile derselben verraten häufig durch ihren Bau ihre Zugehörigkeit zu einer bestimmten Pflanze.

V. Literatur.

Zu weiteren Studien über die Anatomie der Pflanze seien als Hauptwerke empfohlen:

1. de Bary, A., Vergleichende Anatomie der Vegetationsorgane der Phanerogamen und Farne. Leipzig 1877.
2. Haberlandt, G., Physiologische Pflanzenanatomie. 5. Aufl. Leipzig 1918.
3. Solereder, H., Systematische Anatomie der Dikotyledonen. Stuttgart 1899. Dazu ein Ergänzungsband 1908.
4. Küster, E., Pathologische Pflanzenanatomie. 2. Aufl. Jena 1916.
5. Oltmanns, F., Morphologie und Biologie der Algen. 2 Bde. Jena 1904 u. 1905.
6. de Bary, A., Morphologie und Biologie der Pilze, Myzetozoen und Bakterien. Leipzig 1884.
7. Strasburger, E., u. Koernicke, M., Das botanische Praktikum 5. Aufl. Jena 1913.
8. —, —, Das kleine botanische Praktikum f. Anfänger. 7. Aufl. Jena 1913.
9. Molisch, H., Mikrochemie der Pflanze. Jena 1913.

Sachregister.

Dr. Hans Molisch

o. ö. Prof. und Direktor des pflanzenphysiolog. Instituts an der Univers. Wien

Pflanzenphysiologie als Theorie der Gärtnerei. **Für Botaniker, Gärtner, Landwirte, Forstleute und Pflanzenfreunde.** Dritte neubearbeitete Auflage. Mit 145 Abbildungen im Text. (XI, 336 S. gr. 8°.) 1920.
Mark 20.—, geb. Mark 25.—.

Inhalt: I. Ernährung. 1. Die Wasserkultur. 2. und 3. Die unentbehrlichen und die entbehrlichen Aschenbestandteile. 4. Stickstoff. 5. Der Boden. 6. Die Düngung. 7. Die Kohlensäureassimilation. 8. Das Wasser und seine Bewegung. 9. Die Transpiration und der Transpirationsstrom in Beziehung zu gärtnerischen Arbeiten. 10. Die Wanderung der Assimilate. 11. Die Ernährung der Pilze. 12. Ernährungsweisen besonderer Art. — II. Atmung. — III. Wachstum. 1. Allgemeines. 2. Wachstum und Außenbedingungen. 3. Wachstumsbewegungen. 4. Organbildung. 5 Ruheperiode, Treiberei und Laubfall. — IV. Vom Erfrieren und Gefrieren der Pflanzen. — V. Die ungeschlechtliche und die geschlechtliche Fortpfanzung. — VI. Die Keimung der Samen. — VII. Variabilität, Vererbung und Pflanzenzüchtung. — Sachregister.

Die vorliegende Pflanzenphysiologie trägt eine besondere Note. Das Buch bemüht sich, die Grenzen zwischen Theorie und Praxis zu verschmelzen und sucht den Tatsachen der Gärtnerei, die auf großartigen, vielhundertjährigen Massenexperimenten beruhen, die theoretische Grundlage zu geben, andererseits aber wieder die Theorie durch die gärtnerischen Erfahrungen zu stützen. Es ist die erste „Pflanzenphysiologie", die den Physiologen in die Schule des Gärtners und den Gärtner in die Schule des Physiologen führt und daher nicht nur den Pflanzenphysiologen vom Fach, sondern weil es gemeinverständlich geschrieben, auch für den Gärtner, Land- und Forstwirt, ja für jeden Pflanzenfreund bestimmt. Die erste Auflage war kurz nach ihrem Erscheinen — 1916 — schon vergriffen; ebenfalls während der Kriegszeit — 1918 — erschien die zweite Auflage, und auch diese war wiederum in wenigen Monaten vergriffen. Diese Tatsache beweist, daß Molischs Buch, wie von der Presse vorausgesagt, bereits einen ehrenvollen Platz in der gärtnerischen und botanisch-fachwissenschaftlichen Literatur einnimmt. Die 3. Auflage ist genau durrchgesehen und durch ein Kapitel (über fleischfressende Pflanzen) und mehrere andere Einschaltungen erweitert.

Naturwissenschaftliche Zeitschrift für Forst- und Landwirtschaft, 1916, Heft 12: Ein Buch von Molisch zu lesen, ist immer ein lehrreiches Vergnügen. Die leichte Darstellung und verständliche Sprache, das auf breiter Literaturkenntnis basierte allgemeine Wissen, die reiche eigene Erfahrung und das liebevolle Verständnis für Beziehungen der theoretischen Erkenntnis zur praktischen Anwendung, der praktischen Erfahrung zur theoretischen Fragestellung und Begründung sind nur bei wenigen Botanikern in so harmonischer Weise vereinigt. . . . v. Tubeuf

Populäre biologische Vorträge. Mit 63 Abbildungen im Text. (VI, 280 S. gr. 8°.) 1920.
Mark 16.—, geb. Mark 23.—.

Inhalt: 1. Goethe als Naturforscher. 2. Eine Wanderung durch den javanischen Urwald. 3. Reiseerinnerungen aus China und Japan. 4. Das Leuchten der Pflanzen. (Mit 8 Abbild.) 5. Warmbad und Pflanzentreiberei. (Mit 4 Abbild.) 6. Ultramikroskop und Botanik. (Mit 1 Abbild.) 7. Das Erfrieren der Pflanzen. (Mit 7 Abbild.) 8. Über den Ursprung des Lebens. 9. Das Radium und die Pflanze. 10. Der Naturmensch als Entdecker auf botanischem Gebiete. 11. Der Scheintod der Pflanze. 12. Die Verwertung des Abnormen und Pathologischen in der Pflanzenkultur. 13. Biologie des atmosphärischen Staubes (Aëroplankton). 14. Die Wärmeentwicklung der Pflanze. 15. Über die Herstellung von Photographien in einem Laubblatte. 16. Über die Kunst, das Leben der Pflanzen zu verlängern. 17. Botanische Paradoxa. — Autorenverzeichnis.

Molisch hat in den letzten 20 Jahren bis in die neueste Zeit an verschiedenen Orten und bei verschiedenen Anlässen eine Reihe von populären Vorträgen gehalten, die hier gesammelt in einem Bande erscheinen. Die verschiedenen Themen verraten den reichen Inhalt des vielfach auf eigenen neuen Forschungen fußenden Buches. Die Form der Darstellung ist im wahren Sinne des Wortes allgemeinverständlich. Das Buch wendet sich also nicht bloß an den Biologen, sondern an jeden gebildeten Laien mit naturwissenschaftlichen Interessen, da es keine besonderen Vorkenntnisse voraussetzt.

Verlag von Gustav Fischer in Jena

Die Preise erhöhen sich durch die auf voriger Seite angegebenen Teuerungszuschläge.

Hofbuchdruckerei Rudolstadt.